

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА

В. Е. АБРАКІТОВ

КУРС ЛЕКЦІЙ
НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
І ТЕХНОГЕННИЙ РИЗИК

(для студентів 4 курсу денної форми навчання
галузі знань 1702 «Цивільна безпека» за напрямом підготовки
6.170202 «Охорона праці»)

Харків
ХНУМГ
2014

Абракітов В. Е. Курс лекцій «Надійність технічних систем і техногенний ризик» (для студентів 4 курсу денної форми навчання галузь знань 1702 «Цивільна безпека» за напрямом підготовки 6.170202 «Охорона праці») / В. Е. Абракітов; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 66 с.

Автор: д.т.н., доцент В. Е. Абракітов

Рецензент: к.т.н., доцент О. Ю. Нікітченко

*Рекомендовано кафедрою “Безпека життєдіяльності”,
протокол засідання № 10 від 26.12.2012 р.*

ВСТУП

Безпека і стійкість розвитку суспільства – два взаємозв'язані поняття, що мають вирішальне значення при виборі орієнтирів і шляхів досягнення високого матеріального і духовного рівнів життя людей.

Збільшення кількості і масштабів наслідків техногенних аварій і катастроф обумовлене не тільки зростанням складності виробництва із застосуванням нових технологій, що вимагають високих рівнів концентрації енергії та небезпечних для життя людини речовин, суттєво впливаючи тим самим на компоненти навколишнього середовища. Поряд із цим їх першопричиною є крупні структурні зміни в економіці країни, що привели до збоїв у сфері фінансування, високих і прогресуючих рівнів зношування і старіння основних фондів (наприклад, у ряді виробництв хімічної, нафтохімічної і нафтопереробної промисловості зношування сягає 80-100%), падіння технологічної і виробничої дисципліни і зниження кваліфікації персоналу, перенесення термінів ремонту і заміни устаткування, спрощенням регламентного обслуговування.

Забезпечення безпеки населення і навколишнього природного середовища є доволі складним технічним завданням, вирішення якого неможливе без вдосконалення і поглиблення інженерної підготовки у області дослідження надійності, прогнозування і забезпечення безпеки технічних систем. У ряді промислово розвинених країн вивчення безпеки технічних систем, як окремої незалежної діяльності, було введено в практику в 60-х роках XX сторіччя (для прикладу можна навести США, де починаючи з 50-х років XX сторіччя, розпочалася діяльність із створення системи безпеки авіаційно-космічної техніки. Центр уваги перемістився від аналізу поведінки окремих елементів різного типу (електричних, механічних, гідравлічних) на причини і наслідки, що викликаються відмовою цих елементів у відповідній системі. “Дерево відмов”, “дерево наслідків”, “метод послідовної експертизи”, “експертні оцінки” та інші методи виявлення відмов були взяті на озброєння фахівцями, що працюють в хімічній і інших небезпечних галузях промисловості, якраз із сфери військових і аерокосмічних досліджень.

У країнах колишнього СРСР діяла концепція “абсолютної безпеки” вітчизняних технологій і устаткування, що була фундаментом, на якому будувалися нормативи безпеки. Позначилася специфіка політичного, економічного і соціального розвитку країни, яка зумовила суттєве відставання в дослідженнях у області промислової безпеки, безпеці життєдіяльності, культури, екології. Таке ставлення до проблем безпеки стримувало формування у фахівців уявлень про принципи і методи забезпечення промислової і екологічної безпеки, що продукувало відставання у всіх сферах технічної і освітньої діяльності: проектування, виготовлення, експлуатації, нагляду за безпекою, підготовки фахівців, дій в надзвичайних ситуаціях, і позначилося на зростанні кількості і масштабів екстремальних ситуацій і аварій на промислових підприємствах, транспортних системах та ін. Вимога “абсолютної безпеки”, тобто “нульового ризику”, кінець кінцем, призвела до дорогих і навіть до трагічних наслідків для населення і економіки країни. Фахівці, що експлуатують технічні системи і обслуговують небезпечні технології в хімічній промисловості, системи енергетики і трубопровідний транспорт, виявилися невідповідними в методичному

плані до пошуку і аналізу критичних відмов, що приводять до аварій. Рівень знань з безпеки життєдіяльності в техносфері відстав від рівня складності і темпів розвитку техніки, технологій і технічних систем.

В сучасних умовах відбувається перехід від реєстрації факту, що відбувся, до усвідомлення необхідності використання інженерних методів попереднього аналізу і дослідження технічних систем та об'єктів підвищеного ризику з метою попередження аварій. При цьому підхід до вирішення проблем безпеки виробництв, екологічних проблем, що базується на концепції “реагувати і виправляти”, змушений поступитися місцем новому, де діє принцип “передбачати і попереджати”. Постало завдання прогнозування техногенної діяльності - щоб запобігти тому її граничному негативному масштабу, перевищення якого обертається трагедією, катастрофами і екологічним збитком. Саме тому методи дослідження можливих відмов повинні стати доброю підмогою для фахівців з інженерного захисту навколишнього середовища або з безпеки життєдіяльності, а пошук можливих відмов і аналіз наслідків мають стати поширеною, звичайною процедурою при оцінці складних, дорогих і високо-ризикових підприємств, технологій і установок.

Фахівці в галузі охорони праці, повинні поряд з глибокими знаннями з комплексу фундаментальних та інженерних дисциплін мати знання з питань небезпек і ризиків у техносфері, надійності сучасних технічних систем, їх експертизи, діагностики порушень і аварійних ситуацій, а також мати навички з ліквідації аварій і локалізації їх наслідків.

Дисципліна «Надійність технічних систем і техногенний ризик» відноситься до циклу дисциплін за вибором навчального закладу (варіативна частина) для підготовки бакалаврів за галуззю знань 1702 “Цивільна безпека” напряму підготовки 6.170202 “Охорона праці”.

Мета та завдання вивчення дисципліни

Метою вивчення дисципліни є надання студентам необхідного обсягу знань вивчення дисципліни є підготовка студентів до самостійної інженерної діяльності з питань:

- розробки фізичних і математичних моделей системи "людина – машина – середовище";
- аналізу небезпек і ризиків, пов'язаних із створенням та експлуатацією сучасної техніки і технологій;
- прогнозування, оцінювання, усунування причин і пом'якшення наслідків не штатної взаємодії компонентів в системах типу «людина – машина – середовище»;
- створення та безпечної експлуатації сучасної техніки.

Відповідно до мети викладання дисципліни студенти мають вивчити та досконало знати:

- математичний апарат аналізу надійності і техногенного ризику;
- основні моделі типу "людина – машина – середовище";
- основні показники надійності і методи їх визначення;
- сучасні аспекти техногенного ризику;
- основи системного аналізу;
- алгоритми дослідження небезпек;

- теорії і моделі походження і розвитку надзвичайних подій;
- методи якісного аналізу надійності і ризику;
- методи кількісного аналізу надійності і ризику.

Після освоєння дисципліни студенти повинні уміти:

- аналізувати сучасні системи "людина – машина – середовище" на всіх стадіях їх життєвого циклу і ідентифікувати небезпеки;
- розраховувати основні показники надійності систем даного профілю;
- розраховувати ризики і розробляти заходи щодо підтримки їх допустимих величин;
- визначати стандартні статистичні характеристики надзвичайних подій (аварій, нещасних випадків, катастроф).

В ході вивчення дисципліни студенти набувають навичок:

- застосування методик якісного аналізу небезпеки складних технічних систем типу людина – машина – середовище;
- застосування кількісних методів аналізу небезпек і оцінки ризику.

ЛЕКЦІЯ 1

Природа і характеристика небезпек у техносфері. Техносфера. Техніка. Технічна система. Технологія. Визначення небезпеки. Аксиоми про потенційну небезпеку технічних систем. Таксономія небезпек. Приклади таксономій. Номенклатура небезпек. Квантифікація небезпек. Ідентифікація небезпек. Алгоритм розвитку небезпеки і її реалізації

Ієрархія загальнолюдських цінностей сьогодні будується на пріоритеті здоров'я людини - стану її повного фізичного, духовного і соціального благополуччя. Визнання цієї ієрархії та керівництво нею у практичних діях стане реальністю тоді, коли кожна людина проникнеться сучасним поглядом на природні та техногенні умови її власного існування - людина є частиною природи і її благополуччя цілком залежить від благополуччя природи.

Якщо донедавна науково-технічний прогрес сприймався як гарант благополуччя людини, то сьогодні через потужний антропогенний вплив на довкілля та загрозу порушення глобальної рівноваги і знищення життя на Землі ця думка змінюється. У висвітленні світоглядних проблем дедалі частіше акценти ставляться на негативних наслідках науково-технічного прогресу. Немає сумніву в тому, що сучасний етап науково-технічного прогресу характеризується загостренням питань безпеки життєдіяльності людини, а відтак постає проблема пошуку шляхів їхнього вирішення.

Розрізняють небезпеки природного і антропогенного походження. Природні небезпеки обумовлюють стихійні явища, кліматичні умови, рельєф місцевості і т.п. Щорічно стихійні явища піддають небезпеки життя близько 25 млн. чоловік. Так, наприклад, в 1990 р. в результаті землетрусів в світі загинули більше 52 тис. чоловік. Цей рік став найбільш трагічним в минулому десятилітті, враховуючи, що за період 1980...1990 рр. жертвами землетрусів стали 57 тис. чоловік.

Негативна дія на людину і місце існування, на жаль, не обмежується природними небезпеками. Людина, вирішуючи задачі свого матеріального забезпечення,

безперервно впливає на місце існування своєю діяльністю і продуктами діяльності (технічними засобами, викидами різних виробництв і т.п.), генеруючи в місці існування антропогенні небезпеки. Чим вище перетворююча діяльність людини, тим вище рівень і число антропогенних небезпек — шкідливих і травмуючих чинників, що негативно впливають на людину і навколишнє його середовище.

Техніка - це сукупність засобів, створених людством для обслуговування своїх потреб виробничого і невиробничого характеру. У техніці матеріалізовані знання і виробничий досвід, накопичені людством у процесі розвитку суспільного виробництва.

Основне призначення техніки — звільнення людини від виконання фізично важкої або рутинної (одноманітної) роботи з метою підвищення ефективності і продуктивності праці, раціональнішого використання природних ресурсів, а також зниження ймовірності помилки людини при виконанні складних операцій.

Області застосування техніки:

- створення матеріальних і культурних цінностей;
- вироблення, перетворення і передача різних видів енергії;
- збір, обробка та передача інформації;
- проведення наукових досліджень;
- створення і використання різних засобів пересування;
- забезпечення обороноздатності.

У вузькому сенсі під технікою маються на увазі машини, механізми, прилади, пристрої, знаряддя тієї чи іншої галузі. Часто у поняття техніки і до об'єктів технічних наук включається також технологія — сукупність виробничих процесів у певній галузі виробництва, а також опис способів виробництва. Це так тому, що техніка і технологія є двома основними опорами будь-якого виробництва.

Техносфера — сфера, яка містить штучні технічні споруди, які виготовляються та використовуються людиною. Себто це:

1) частина біосфери (за деякими уявленнями, — з часом вся біосфера), корінним чином перетворена людиною за допомогою опосередкованого впливу технічних засобів технічні та техногенні об'єкти (будівлі, дороги, механізми тощо) в цілях якнайкращої відповідності соціально-економічним потребам людства;

2) найскладніша частина антропосфери, що охоплює взаємодію технічних засобів виробництва з природно-ресурсним потенціалом території на основі науково-технічного прогресу;

3) практично замкнута регіонально-глобальна майбутня технологічна система утилізації і реутилізації що залучаються до господарського обороту природних ресурсів, розрахована на ізоляцію господарсько-виробничих циклів від природного обміну речовин і потоку енергії.

Під небезпекою розуміють явища, процеси, об'єкти, які за певних умов здатні спричинити небажані наслідки (втому, перевтому, погіршення здоров'я, втрату життя, аварії, пожежі, вибухи, катастрофи), тобто невідповідність умов середовища перебування людини до умов нормального функціонування людського організму.

Небезпеку зберігають всі системи, що мають енергію, хімічно або біологічно активні компоненти, а також характеристики, невідповідні умовам життєдіяльності людини.

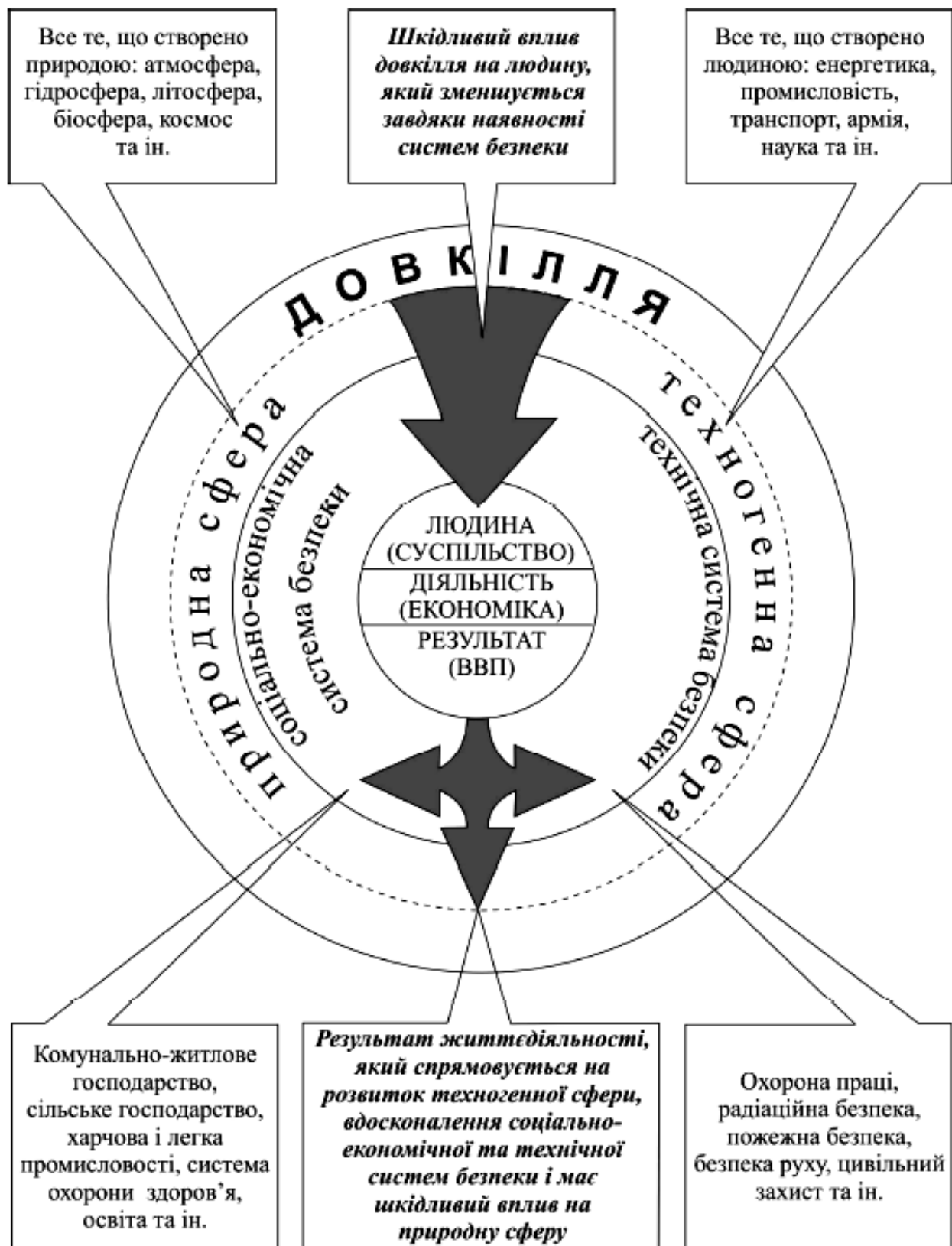


Рис. 1.1 – Модель життєдіяльності людини

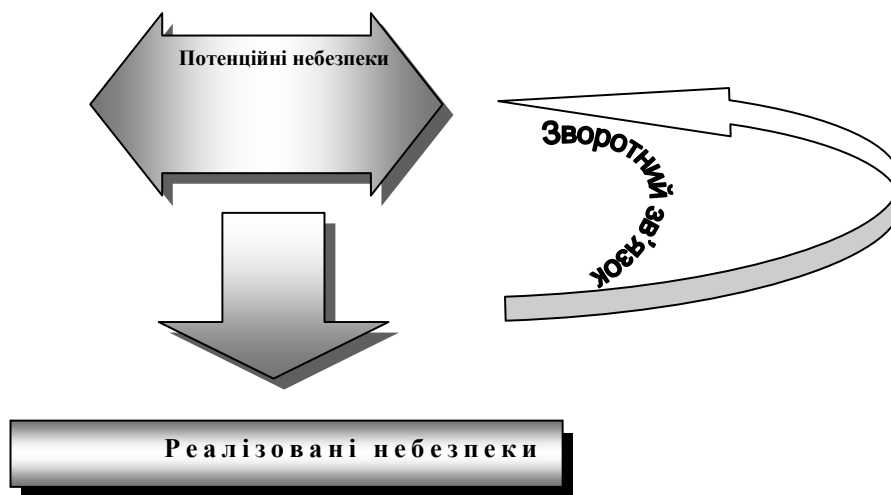


Рис. 2.2 – Небезпека – явища, інформація, процеси, об’єкти, які можуть спричинити небажані наслідки

Прихована (потенційна) небезпека проявляється за певних, часто важкопередбачуваних умов і реалізується у формі надзвичайних ситуацій, захворювань чи травм людей.

Небезпеки носять потенційний характер. Актуалізація небезпек відбувається за певних умов, що іменуються причинами. Ознаками, що визначають небезпеку, є: загроза для життя, можливість завдання збитку здоров'ю, порушення умов нормального функціонування органів і систем людини.

Забезпечення безпеки діяльності - завдання першорядного пріоритету для особи, суспільства держави. Абсолютної безпеки не буває. Під безпекою розуміється такий рівень небезпеки з яким на даному етапі наукового і економічного розвитку можна змиритися. Безпека - це прийнятний ризик. Як досягти цю мету? Єдиний спосіб полягає в освіті Людини. Іншого шляху просто немає.

З моменту своєї появи на Землі людина перманентно живе і діє в умовах постійних потенційних небезпек, що змінюються, тобто діяльність Людини потенційно небезпечна **/Аксіома про потенційну небезпеку діяльності/**. Перефразовуючи аксіому про потенційну небезпеку, можна констатувати - Життєдіяльність людини потенційно небезпечна.

Аксіома зумовлює, що всі дії людини та всі компоненти місця існування, перш за все технічні засоби і технології, окрім позитивних властивостей і результатів, володіють здатністю генерувати травмуючі і шкідливі чинники. При цьому будь-яка нова позитивна дія або результат неминуче супроводжується виникненням нових негативних чинників.

В даний час перелік негативних чинників, що реально діють, дуже великий і налічує більше 100 видів. До найбільш поширених з достатньо високими концентраціями або енергетичними рівнями відносяться шкідливі виробничі чинники: запиленість і загазованість повітря, шум, вібрації, електромагнітні поля, іонізуючі випромінювання, підвищені або знижені параметри атмосферного повітря (температури, вологості, рухливості повітря, тиску), недостатнє і неправильне освітлення, монотонність діяльності, важку фізичну працю і ін.

Реалізуючись у просторі та часі, небезпеки заподіюють шкоду здоров'ю людини. У свою чергу, люди є складниками тієї або іншої соціальної групи, суспільства, держави. Отже, небезпеки - це те, що загрожує не тільки Людині, але і суспільству і державі в цілому. Значить, профілактика небезпеки і захист від них - актуальна гуманна і соціально-економічна проблема, в рішенні якої Держава не може не бути зацікавленою.

Небезпеки за своєю природою потенційні (т.е. приховані), перманентні (т.е. постійні) і тотальні. Отже немає на Землі Людини, якій не загрожує небезпека. Та зате є тьма людей, які про це не підозрюють. Їх свідомість працює в режимі відчуження від реального життя. Для вироблення ідеології безпеки, формування відповідного мислення і поведінки і служить наука безпека життєдіяльності.

Небезпека - поняття відносне.

Вихідними поняттями для загальної уяви про поняття ризик є наступні.

Ідентифікація небезпек — виявлення типу небезпеки та встановлення її характеристик, необхідних для розробки заходів щодо її усунення чи ліквідації наслідків.

Номенклатура небезпек - перелік назв, термінів, систематизованих за окремими ознаками.

При виконанні конкретних досліджень складається докладніша номенклатура небезпек для окремих об'єктів. Корисність номенклатур полягає в тому, що вони містять повний перелік потенційних небезпек і полегшують процес ідентифікації. Процедура складання номенклатури має профілактичну спрямованість.

Таксономія небезпек — класифікація та систематизація явищ, процесів, інформації, об'єктів, які здатні завдати шкоди. (Таксономія - наука про класифікацію і систематизацію складних явищ, понять, об'єктів.)

Оскільки небезпека є поняттям складним, ієрархічним, таким, що має багато ознак, таксономія їх несе важливу роль в організації пізнання безпеки життєдіяльності, дозволяє глибше пізнати природу небезпеки.

Квантифікація небезпек - введення кількісних характеристик для оцінки ступеня (рівня) небезпеки. Найпоширенішою кількісною оцінкою небезпеки є ступінь ризику.

Небезпеки класифікують за:

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| — походженням; | — часом проявлення; |
| — сферою прояву; | — структурою; |
| — локалізацією; | — характером дії на людину. |
| — шкодою; | |
| — наслідками; | |

За походженням розрізняють 6 груп небезпек: природні, техногенні, антропогенні, екологічні, соціальні, біологічні.

За характером дії на людину небезпеки можна розділити на 5 груп: механічні, фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

За часом прояву негативних наслідків небезпеки діляться на імпульсні і кумулятивні.

За локалізацією небезпеки бувають: пов'язані з літосферою, гідросферою, атмосферою, техносферою та космосом.

За наслідками, що викликаються: стомлення, захворювання, травми, аварії, пожежі, летальні результати і т.д.

За збитком, що наноситься: соціальний, технічний, екологічний, економічний.

Сфери прояву небезпек: побутова, спортивна, дорожньо-транспортна, виробнича, військова і ін.

За структурою (за побудовою) небезпеки діляться на прості і похідні, породжувані взаємодією простих.

За енергією, що реалізовується, небезпеки діляться на активні і пасивні.

До пасивних відносяться небезпеки, що активізуються за рахунок енергії, носієм якої є сама людина. Це - гострі (що колють і ріжучі) нерухомі елементи; нерівності поверхні, по якій переміщається людина; ухили, підйоми; незначне тертя між дотичними поверхнями (ковзання) і ін.

Розрізняють **ознаки небезпеки:** *апріорні* (передвісники) і *апостеріорні* (наслідки).

Контрольні запитання (Лекція 1)

1. Розкрийте поняття “Небезпека”.
2. Що таке таксономія небезпек?
3. За якими ознаками класифікуються небезпеки?
4. Поясніть значення ідентифікації, номенклатури та квантифікації небезпек.

ЛЕКЦІЯ 2

Основні положення теорії ризику. Поняття ризику. Енергоентропійна концепція небезпек. Стисла історія виникнення науки про ризики. Психологія ризику

Нещасний випадок – це, як правило, випадкова подія, яка відбулася або може відбутися в умовах прояву шкідливих або небезпечних чинників, тих, що оточують людину. Але **поняття «випадкової події» щільно пов'язане з поняттям «ризик» і «теорією ризиків».**

Ризик властивий будь-якій формі людської діяльності, що пов'язано з безліччю умов і чинників, що впливають на позитивний результат рішень, які ухвалюють люди. Історичний досвід показує, що ризик є загрозою відсутності реалізації намічених результатів.

На Заході, навіть у відносно стабільних умовах, багато приділяють уваги питанню управління ризиками. В той же час, в Україні, де чинники політичної і економічної нестабільності і без того ускладнюють ефективне управління підприємствами, проблемам аналізу і управління комплексом ризиків, що виникають у процесі їх діяльності, приділяється явно недостатня увага.

А. Маршаллом одним з перших були розглянуті проблеми виникнення ризиків, його праці поклали початок неокласичної теорії ризику. Дж. М. Кейнс ввів в науку поняття «схильність до ризику».

Що ж є передумовою виникнення ризику?

Енергоентропійна концепція небезпеки спирається на другий закон термодинаміки. Мова йде про те, що якщо ми маємо енергію, то маємо небезпеку, бо є один відомий нам сьогодні напрям розвитку процесу – об'єкт, в якому є енергія,

намагається позбавитися цієї енергії. Ми, наприклад, маємо водойми, де нагромаджена велика кількість води, яка впирається в дамбу, і дамба знаходиться під ризиком. В світі 35 тисяч гребель, з них щороку падає 5.

В Україні ризиками такого типу є всі водойми Дніпровського каскаду, починаючи від Київського водосховища. Це шламонагромаджувачі з радіо активними відходами в районі Дніпродзержинська, Кривбасу. Там залізорудні кар'єри, яким 50-100 чи більше років, сьогодні вони досягли глибини 500-700 метрів і є регулярна потреба відкачувати звідтіля воду. Вода відкачується разом з масою, яка там є, а також частиною технологічного циклу – відходами, які заповнили водойми. Загальна маса активного шламу в районі 100 мільйонів тон, нормативи перевищені в 2-3 рази, греблі вже тріщать, кудись треба це дівати. Таких випадків значно більше, потрібно про це пам'ятати і мати якісь плани дій. Наразі всі ситуації, які розвивалися, підтверджують, що у більшості випадків таких планів дій немає.

Але що ж таке «ризик»?

З відомої енциклопедії Вікіпедії (вільної енциклопедії) ризик - поєднання вірогідності і наслідків настання подій. Знання вірогідності несприятливої події дозволяє визначити вірогідність сприятливих подій по формулі. Також ризиком часто називають безпосередньо можливу (передбачену) подію, здатну принести кому-небудь збиток або шкоду. Ризик - характеристика ситуації, що має невизначеність результату, при обов'язковій наявності несприятливих наслідків. Ризик у вузькому сенсі - кількісна оцінка небезпек, визначається як частота однієї події при настанні іншої. Ризик - це невизначена подія або умова, яка у разі виникнення, наприклад, має позитивний або негативний вплив на репутацію компанії, приводить до придбань або втрат в грошовому вигляді. Ризик завжди позначає імовірнісний характер результату, при цьому в основному під словом ризик найчастіше розуміють вірогідність отримання несприятливого результату (втрат), хоча його можна описати і як вірогідність отримати результат, відмінний від очікуваного. Наприклад, ви чекали спокійно перейти через перехрестя, а на Вас несподівано наїхав автомобіль. У професійних оцінках ризику, ризик звичайно комбінує імовірність наступаючої події з дією, яка воно могла б мати місце, а також з обставинами, супроводжуваними настанням цієї події. В даний час теорія ризиків розглядається, як частина кризисології - науки про кризи, севітології - науки про безпеку життєдіяльності та інших наук.

«Припущення» указує на те, що подія наперед не визначена, тобто вона може відбутися, а може і не відбутися. «Припущення» несе в собі визначену сторону, що робить це припущення характеристикою вірогідності події. «Припущення», - результат суб'єктивної думки мислячої істоти про подію майбутнього періоду, що ще не відбулася. «Збиток або шкода» розуміються в най поширеному сенсі негативних наслідків: від втрати настрою і матеріальних витрат, недоотриманого прибутку, шкоди іміджу, до фінансових втрат і втрати здоров'я. «Кому-небудь» указує на те, що ризик має належність. Ризик існує, коли результат може привести до збитку або іншого негативного (звертаємо увагу – тільки негативного) наслідку.

Дослідження ризику тісно пов'язане з розвитком теорії вірогідності. В середньоріччі розвиток математики було обумовлено, зокрема, аналітичним інтересом до азартних ігор – до карт, до кісток. У XX столітті з'являється концепція Найта: «Ризик проти невизначеності». У своїй піонерській роботі «Ризик, невизначеність і

прибуток» (1921) Френк Найт запропонував оригінальну точку зору на відмінність між ризиком і невизначеністю. Невизначеність повинна в деякому розумінні радикально відрізнятися від знайомого поняття ризику, від якого вона належним чином ніколи не відділялась. Істотний факт - те, що "ризик" означає в певних випадках кількість, одержану з вимірювань, тоді як в інших випадках це - дещо не виразно; це і є відмінності у відносинах явищ, що є критичними і далеко йдуть. В кожному випадку одне з цих двох понять дійсно присутнє і працює. Вимірنا невизначеність, або належний "ризик", відрізняється від невимірного ризику так, що перший в дійсності не є невизначеністю взагалі.

Черговий виток розвитку наукового підходу до ризику породжений головним чином інтересами фінансів в 1980-х, коли стали поширені так звані фінансові «інструменти». Проте більшість професіоналів не приймала наукові методи аж до 1990-х, коли нарешті потужність комп'ютерних обчислень дозволила врахувати достатньо широке коло даних. Значний внесок в теорію оцінок ризику був внесений у ході розробки оцінок радіаційного і екологічного ризику, коли запанувала теорія «без порогових ризиків». Уряди різних країн широко використовують складні наукові методи оцінки ризику, щоб встановити найбільш відповідні стандарти, наприклад, нормативи екологічного регулювання, що вже зроблено Агентством захисту навколишнього середовища, США.

Психологія ризику:

У психології термін ризик пов'язаний з трьома напрямками досліджень:

1) *Ризик, як міра очікуваної невдачі у діяльності.* Вага ризику визначається, як Множина вірогідності неуспіху на ступінь несприятливих наслідків.

2) *Ризик як дія, що загрожує суб'єкту певними втратами* (програшем, захворюванням, іншим збитком). Розрізняють мотивований ризик, що припускає отримання ситуативних переваг в діяльності, немотивований ризик, раціонально не обґрунтований; виправданий і не виправданий ризик.

3) *Ризик, як ситуація вибору.* Вибір повинен бути здійснений між менш привабливою, але надійнішою стратегією, і привабливішою, але менш надійною («Синиця у руках або журавель у небі»).

Схильність до ризику є досить стійкою характеристикою індивіда і пов'язана з такими особовими рисами, як імпульсність, незалежність, прагнення до успіху, схильність до домінування. На ризикову поведінку впливає також і культура, і соціальні умови. Антиподом ризику є гарантії. Виділяють гарантії досягнення (розраховані на успіх) і гарантії компенсації (розраховані на невдачу)

Створення ризику - це фундаментальна проблема для всіх форм оцінювання ризику. Зокрема тому, що обмежена раціональність (наші розумові здібності перевантажені, так що ми обмежуємося ментальними скороченнями — «гарячими клавішами») помітно знецінює ризик надзвичайних подій, тому що їх вірогідність надзвичайно мала для інтуїтивної оцінки. Наприклад, одна з провідних причин смерті, така, як дорожня подія, викликана нетверезістю водіїв частково тому, що будь-який водій сам створює цю проблему, в значній мірі або повністю ігноруючи ризик серйозного або фатального нещасного випадку.

Особа, яка оцінює ризики – ризик-коректор, або експерт, часто виявляється перед лицем серйозного конфлікту інтересів. Експерт часто виявляється перед

вибором пізнавального ухилу і культурного ухилу. Також не можна завжди бути упевненим, що вдасться уникнути моральних ухилів. Створення ризику представляє ризик сам по собі, який зростає.

Наприклад, надзвичайно небезпечні події, в яких всі учасники не бажають опинитися знову, можуть ігноруватися в аналізі, не дивлячись на факт, що події вже відбулися і мають вірогідність, відмінну від нуля. Або, подія, з неминучістю якої згоден кожен, може виявитися видаленою з аналізу, наприклад, з причин жадібності або небажання визнати, що вона, як всі вважають, є неминучою. Ці людські тенденції до помилок і ухвалення бажаного за дійсне часто зачіпають навіть найстрогіші застосування наукового методу і служать головним неспокоєм науки філософії.

Будь-які ухвалення рішень при невизначеності повинні враховувати пізнавальний ухил, культурний ухил, і термінологічний ухил: «Ніяка група людей, що оцінює ризик, не вільна від «групової думки»: ухвалення вочевидь невірних відповідей просто тому, що люди звичайно соціально болючі до незгоди».

Один ефективний спосіб вирішити проблеми «створення ризику» полягає в оцінці ризику або його вимірюванні (хоча деякі стверджують, що ризик не може бути вимірний, а тільки оцінений) полягає в тому, щоб гарантувати, що сценарії, як строге правило, повинні включати непопулярні і можливо неймовірні (у групі) з низькою вірогідністю високої дії «погрози» і/або «події — бачення». Це дозволяє учасникам оцінки ризику поволі вселяти страх в інших, і в інші особисті ідеали так, щоб люди чинили інакше з будь-якої іншої причини, окрім погодження формальним вимогам і інструкціям.

В даний час, ми повинні покластися на наші власні побоювання і коливання, щоб захистити себе краще від невідомих нам обставин. У своїй книзі «Подарунок побоювання» Гавін де Бекер затверджує: «Дійсне побоювання - це подарунок, це сигнал виживання, який, проте, звучить тільки перед лицем небезпеки. Все ж таки інші негарантовані побоювання володарюють над нами так, як це не дозволяє собі ніяка інша жива істота на Землі. Такого бути не повинно». Ризик повинен бути визначений так, щоб бути способом, яким ми всі разом вимірюємо і розділяємо це «дійсне побоювання» - сплав раціонального сумніву, безрозсудного страху і безлічі інших «некількісних» відхилень в нашому власному досвіді.

Контрольні запитання (Лекція 2)

1. Що ж є передумовою виникнення ризику?
2. Що таке енергоентропійна концепція ризику?
3. Що таке «створення ризиків»?
4. Основні напрями досліджень в психології ризику.
5. Що таке «припущення», «збиток» та «школа» в світлі теорії ризиків?

ЛЕКЦІЯ 3

Основи методології аналізу і управління ризиком. Аналіз ризику: поняття і місце в забезпеченні безпеки технічних систем. Спільність і відмінність процедур оцінки і управління ризиком. Кількісні показники ризику. Системно-динамічний підхід до оцінки техногенного ризику

Щоб ефективно запобігати виникненню небажаних наслідків, треба вміти кількісно оцінити небезпечність того чи іншого середовища перебування людини. На

сьогодні ще немає адекватних оцінок небезпек. Існує бальна система кількісної оцінки небезпек, наприклад, шкали сили землетрусів, штормів. Хоча бальна оцінка небезпек і дає кількісний показник, але передбачити за ним небажані наслідки дуже важко, оскільки багато інших чинників ця оцінка не враховує, зокрема, де відбувся землетрус, як заселена територія, її економічний потенціал.

Кількісною оцінкою небезпечності середовища перебування людини може бути середній вік життя людини. Очевидно, чим меншому шкідливому впливу підпадала людина протягом свого життя, тим довше вона може прожити. Ця оцінка адекватно відображає небезпечність середовища перебування людини, проте вона має той недолік, що є інтегральною оцінкою, тобто відображає сумарний вплив усіх небезпек, які упродовж усього життя діяли на людину. За цією оцінкою важко виділити окремі небезпеки, які шкідливо впливали на здоров'я людини. Однак динаміка зміни середнього віку життя людини є корисною для кількісної оцінки небезпечності середовища перебування людини і дає змогу виявити основні тенденції у її змінах.

Існує безліч визначень ризику, народжених в різних ситуаційних контекстах і різними особливостями застосувань. З найбільш поширеної точки зору, кожен ризик (міра ризику) в певному значенні пропорційний як очікуваним втратам, які можуть бути заподіяні ризиковою подією, так і вірогідності цієї події.

В самому загальному вигляді ризик можна визначити так.

*Кількісна оцінка небезпеки називається **ризиком***

Ризик — це відношення числа тих чи інших фактичних проявів небезпеки до їх можливого теоретичного числа за певний період часу.

Ризик — частота реалізації небезпеки.

Ризик є супутником будь-якої активної діяльності людини. Необхідно розрізняти *правомірний, допустимий* ризик, який є *виправданим* при багатьох видах діяльності, і *неправомірний* ризик.

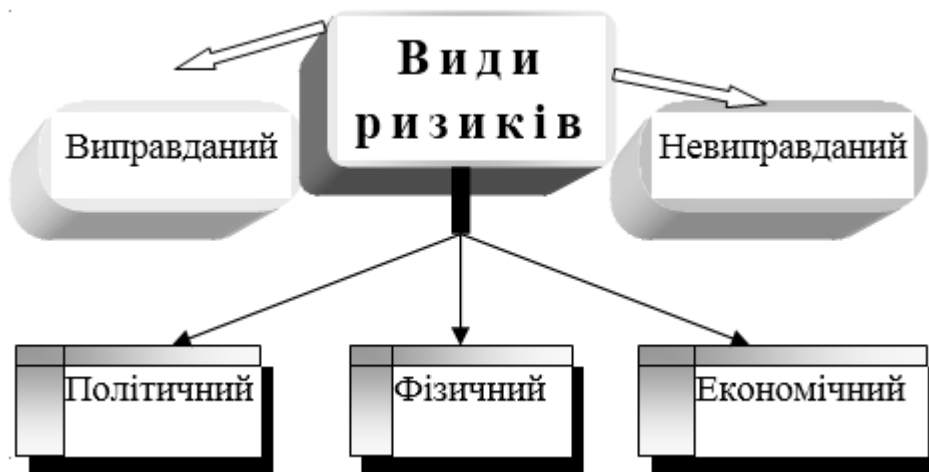


Рис. 3.1 – Види ризиків

Відмінності у визначеннях ризику залежать від контексту втрат, їх оцінки і вимірювання, коли ж втрати є ясними і фіксованими, наприклад, «людське життя», оцінка ризику фокусується тільки на вірогідності події (частоті події) і пов'язаних з ним обставин. Через це існує безліч незалежних класифікацій ризиків, і наведена

вище класифікація не є єдиною..

Технічний ризик - вірогідність відмови технічних пристроїв з наслідками відповідного рівня (класу) за певний період функціонування небезпечного виробничого об'єкту.

Індивідуальний ризик - частота ураження окремої людини в результаті впливу досліджуваних чинників небезпеки аварій.

Потенційний територіальний ризик (або потенційний ризик) - частота реалізації вражаючих чинників аварії в даній точці території. Окремим випадком територіального ризику є екологічний ризик, який виражає вірогідність екологічного лиха, катастрофи, порушення подальшого нормального функціонування і існування екологічних систем і об'єктів в результаті антропогенного втручання в природне середовище або стихійного лиха.

Колективний ризик (груповий, соціальний) - це ризик прояву небезпеки того або іншого вигляду для колективу, групи людей, для певної соціальної або професійної групи людей. Окремим випадком соціального ризику є економічний ризик, який визначається співвідношенням користі і шкоди одержуваного суспільством від певного виду діяльності.

Прийнятний (допустимий, припустимий) ризик аварії - ризик, рівень якого є допустимим і суспільство готове піти на цей ризик. Таким чином, прийнятний ризик є деяким компромісом між рівнем безпеки і можливостями його досягнення. Величина прийнятного ризику для різних суспільств, соціальних груп і окремих людей - різна. Наприклад, ризик для європейців, африканців і індусів; ризик для жінок і чоловіків; ризик для багатих і бідних. В даний час прийнято вважати, що для дії техногенних небезпек в цілому індивідуальний ризик вважається прийнятним, якщо його величина не перевищує 10^{-6} .

Професійний ризик - це ризик, пов'язаний з професійною діяльністю людини.

Наноризик (нано- 10^{-9}) - особливий вид ризику, пов'язаний із створенням і розробкою, проведенням досліджень, застосуванням наноматеріалів і нанотехнологій, включаючи синергетичний ефект. На відміну від ризиків наноматеріалів і нанотехнологій - техногенних ризиків, пов'язаних із застосуванням наноматеріалів і нанотехнологій, наноризики визначаються мінімальною кількістю речовини і мінімальною кількістю енергії, втіленими у готовій продукції в порівнянні з енергоємними нині існуючими матеріалами і технологіями, які дозволяють досягти рівня 10^{-9} 1/рік у виняткових випадках. З використанням наноматеріалів і нанотехнологій з'являється реальна можливість досягти рівня техногенного ризику 10^{-9} 1/рік, що, як мінімум, на порядок менше того, що існує. Вірогідність смерті для населення від небезпек, пов'язаних з техносферою, вважається неприпустимою, якщо складає в рік більше 10^{-6} , і прийнятною, якщо ця величина менше 10^{-8} 1/рік. Рішення по об'єктах, рівень індивідуального ризику для яких лежить в інтервалі 10^{-6} ~ 10^{-8} 1/рік, ухвалюється виходячи з конкретних економічних і соціальних аспектів. Рівень техногенного ризику 10^{-9} 1/рік повинен бути законодавчо закріплений для всіх наноматеріалів і нанотехнологій.

Продовжуючи тему, розпочату ще на минулому занятті, слід казати, що в рамках дисципліни розглядається наступна класифікація ризиків:

Суб'єктивний - (ризик, наслідки якого неможливо об'єктивно оцінити)

Об'єктивний - (ризик з точно вимірними наслідками)

Фінансовий - (ризик, прямі наслідки якого полягають в грошових втратах)

Нефінансовий - (ризик з не грошовими втратами, наприклад втратою здоров'я)

Динамічний - (ризик, вірогідність і наслідки якого змінюються залежно від ситуації, наприклад ризик економічної кризи)

Статичний - (практично не змінний в часі ризик, наприклад ризик пожежі)

Фундаментальний - (несистематичний, не диверсифікований, ризик з тотальними наслідками)

Приватний - (систематичний, диверсифікований, ризик з локальними наслідками)

Чистий - (ризик, наслідками якого можуть бути лише збиток або збереження існуючого положення)

Спекулятивний - (ризик, одним з наслідків якого може бути вигода. Такий ризик, можливо, не існує за формальним визначенням, але є дуальною випадковою подією, він поєднує і ризик і шанс).

Методи визначення ризику:

- **інженерний** — спирається на статистику, розрахунки частоти проявлення небезпек, імовірнісний аналіз безпеки та на побудову "дерев" небезпек;
- **модельний** — базується на побудові моделей впливу небезпек як на окрему людину так і на соціальні, професійні групи;
- **експертний** — за ним ймовірність різних подій визначається досвідченими спеціалістами-експертами;
- **соціологічний** (соціометрична оцінка) — базується на опитуванні населення та працівників.

Дані методи доцільно використовувати комплексно.

За статистичним методом ризик обчислюється за формулою:

$$R = n / N$$

де **R** – ризик за певний період часу, **n** – кількість фактичних проявів небезпеки (травм, аварій, катастроф), **N** – теоретично можлива кількість небезпек для даного виду діяльності чи об'єкта.

Прийнятний ризик — це нормований ризик у світовій практиці (10⁻⁶).

Прийнятний ризик — це певний компроміс між рівнем безпеки та можливістю її досягнення.

Контрольні запитання (Лекція 3)

1. Дайте визначення поняттю “ризик”.
2. Назвіть види ризиків та охарактеризуйте їхню класифікацію.
3. Охарактеризуйте методи визначення ризику.
4. Наведіть формулу для розрахунку ризику за статистичним методом.

ЛЕКЦІЯ 4

Моделювання ризику та управління ризиком. Принципи побудови інформаційних технологій управління ризиком

Ризик і загроза. У сценарному аналізі «ризик» відрізняють від «загрози». Загроза - це недосліджена негативна подія, яку деякі аналітики можуть бути

нездатними оцінити при оцінці ризику, тому що ця подія ніколи не відбувалася, і для якої не доступна ніяка інформація про ефективні профілактичні заходи (кроки застосовані, щоб зменшити вірогідність або дію можливої майбутньої події). Ця відмінність найбільш ясно ілюструється попереджувальним принципом, який прагне зменшити загрозу, вимагаючи від неї бути зведеною до набору добре визначених ризиків, щоб тільки потім взятися до дій, проектів, нововведень або експериментів.

Теоретичний ризик. Статистичний ризик часто зводиться до вірогідності деякої небажаної події. Звичайно вірогідність такої події і деяка оцінка його очікуваної шкоди об'єднується в один правдоподібний результат, який комбінує набір вірогідності ризику, втрат і винагороди в очікуване значення для даного результату.

Таким чином, в статистичній теорії ухвалення рішень, функція ризику оцінки $\delta(x)$ для параметра Θ , обчислена при деяких спостережуваних x ; визначається як математичне очікування функції втрат L

$$R(\Theta) = \int L(\Theta, \delta(x)) x f(x/\Theta) dx$$

де $\delta(x)$ — оцінка, Θ - параметр оцінки.

Ефективний ризик. Хоча звичайно неможливо безпосередньо виміряти ефективний ризик, існує багато неформальних методів, використовуваних для його оцінки або «вимірювання». Формальні ж методи найчастіше вимірюють одну із мір ризику: так звану *VaR* (*Value At Risk* - вартісна міра ризику).

Наприклад, технічний ризик:

$$R = P \cdot L$$

де R - ризик; P - вірогідність однієї небажаної події; L - кількість втрачених грошей або жертв в результаті однієї небажаної події.

Ризик R - кількісна характеристика небезпеки, визначувана частотою реалізації небезпек. Це відношення числа несприятливих наслідків (число смертельних випадків, число випадків захворювань, інвалідності і т. д.), викликаних дією на людину конкретної небезпеки N до їх можливого числа за певний період Q :

$$R = N(t)/Q(f)$$

де $N(t)$ — кількісний показник частоти небажаних подій в одиницю часу; $Q(f)$ - число об'єктів ризику, схильних до певного чинника ризику.

Ризик - безрозмірна величина, визначувана на конкретний період часу.

Ризикочутливі галузі. Деякі галузі промисловості управляють ризиком за допомогою кількісної оцінки. Вони включають ядерну і авіапромисловість, де можлива відмова складного ряду проєктованих систем могла б привести до дуже небажаних результатів. Звичайна міра ризику для окремого класу подій така

$$R = P \cdot C,$$

де P - вірогідність події, а C - її «наслідок». Повний ризик - це сума індивідуальних ризиків окремих класів. У ядерній промисловості, «наслідок» часто вимірюється рівнем радіологічного випромінювання за межами випромінюючої ділянки, вимірювання часто об'єднується в п'ять або шість смуг, вширшки в десять градацій.

Ризики оцінюються, використовуючи методи побудови дерева подій. Там, де ці ризики низькі, вони, як завжди, вважаються «широко прийнятними». Вищий рівень ризику (звичайно до 10 - 100 разів, що вважається широко прийнятним) повинен бути виправданий проти витрат на його зменшення і можливих вигод, які роблять його терпимим - ці ризики розглядаються як «терпимі». Ризики поза цим

рівнем класифікуються як «нестерпні».

Рівень ризику «широко прийнятний» взятий до уваги урядами різних країн - найраніше спроба, що була зроблена британським урядом і академічним дослідником Ф. Р. Фармером (*en: F. R. Farmer*), який використав приклад високогірної прогулянки і інших подібних дій, що мають цілком визначні ризики, які люди, здається, знаходять прийнятними. Це привело до, так званої Кривої Фармера, прийнятної вірогідності ризикових подій проти їх наслідків.

Така техніка в цілому звичайно згадується як Імовірнісна Оцінка Ризику (*Probabilistic Risk Assessment, PRA*), або Імовірнісна Оцінка Безпеки (*Probabilistic Safety Assessment, PSA*). Одним з основних завдань безпеки життєдіяльності є визначення кількісних характеристик небезпеки (ідентифікація). Тільки знаючи ці характеристики можна на базі загальних методів розробити ефективні приватні методи забезпечення безпеки і оцінювати існуючі технічні системи і об'єкти з погляду їх безпеки для людини.

При аналізі технічних систем широко використовується поняття надійності. Надійність є властивість об'єкту виконувати і зберігати в часі задані йому функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність є внутрішньою властивістю об'єкту. Воно виявляється у взаємодії цього об'єкту з іншими об'єктами усередині технічної системи, а також із зовнішнім середовищем, що є об'єктом, з яким взаємодіє сама технічна система відповідно до її призначення. Ця властивість визначає ефективність функціонування технічної системи в часі через свої показники. Будучи комплексною властивістю, надійність об'єкту (залежно від його призначення і умов експлуатації) оцінюється через показники приватних властивостей - безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збереження - окремо або певному поєднанні.

При аналізі безпеки технічної системи, характеристики її надійності не дають вичерпної інформації. Необхідно провести аналіз можливих наслідків відмов технічної системи в сенсі збитку, що наноситься устаткуванню і наслідків для людей, що знаходяться поблизу нього. Таким чином, розширення аналізу надійності, включення в нього розгляди наслідків, очікувану частоту їх появи, а також збиток, що викликається втратами устаткування і людськими жертвами, і є оцінкою ризику. Кінцевим результатом вивчення ступеня ризику може бути, наприклад, таке твердження: «Можливе число людських жертв протягом року в результаті відмови дорівнює N людей». Таким чином, можна дати наступне визначення ризику: ризик - частота реалізації небезпек.

Кількісна оцінка ризику — це відношення числа тих або інших несприятливих наслідків до їх можливого числа за певний період.

У загальному випадку для кількісної оцінки небезпек використовують коефіцієнт ризику R , який визначається як добуток імовірності реалізації небезпек P на величину можливих збитків від них S :

$$R = P S \quad (4.1)$$

Залежність імовірності реалізації небезпек від збитків, що ними завдаються, має експоненціальний характер:

$$P = \exp\left(-S/\mu\right), \quad (4.2)$$

де μ — параметр, який показує збитки від небезпек, які реалізуються з імовірністю 0,368.

З урахуванням цієї залежності коефіцієнт ризику від величини збитків визначається рівнянням

$$R = S \exp\left(-\frac{S}{\mu}\right)$$

і характеризується екстремальною залежністю, яка показана на рис. 4.1. На цьому рисунку величини R^* і S^* показують відповідно коефіцієнт ризику і збитки, що пов'язані з небезпеками, які реалізуються найчастіше.

Застосування коефіцієнта ризику для кількісної оцінки небезпек, що завдають збитки здоров'ю людини у вигляді (4.1), є необґрунтованим, оскільки неможливо оцінити втрату здоров'я чи життя людини у грошовому еквіваленті. Приймаючи умовно $S = 1$, для кількісної оцінки таких небезпек використовують величину, яку називають коефіцієнтом індивідуального ризику.

Коефіцієнт індивідуального ризику - це відношення кількості реалізованих небажаних наслідків для життя людини до всіх можливих за певний період часу. Формально його можна визначити як частоту реалізації небезпек. Для країни в цілому маємо, що

$$R = \frac{n_k}{N_k},$$

а для окремого об'єкта вивчення

$$R = \frac{n_o}{N_o},$$

де n_k - кількість передчасних летальних наслідків у країні за один рік (умовно прийнято вважати летальний наслідок передчасним, якщо він трапився з особою працездатного віку); N_k - загальна кількість жителів країни в цьому році; n_o - кількість нещасних випадків із летальним наслідком на об'єкті вивчення; N_o - середня кількість працівників на об'єкті вивчення впродовж року.

На противагу середньому віку життя людини коефіцієнт індивідуального ризику вважають диференціальною оцінкою небезпек, оскільки його можна застосувати окремо до будь-якого небезпечного чи шкідливого чинника для здоров'я та життя людини, наприклад, пожежі, транспорту, інфекційних хвороб. За його допомогою оцінюють частку кожного чинника у загальній небезпеці для людини в певному середовищі перебування.

Коефіцієнт індивідуального ризику оцінюють лише приблизно. Для цього використовують чотири методичні підходи:

- *інженерний* - ґрунтується на статистиці нещасних випадків або на аналізі джерел небезпек;
- *модельний* - використовує математичні моделі впливу небезпечних та шкідливих чинників на окрему людину (професійні групи людей);
- *експертний* - ґрунтується на оцінках досвідчених фахівців;
- *соціологічний* - використовує результати опитування груп населення (працівників).

Два перші підходи є об'єктивнішими і точнішими, проте для них дуже часто бракує необхідних даних, які використовують у розрахунках. Два останні звичайно менш точні, бо містять елементи суб'єктивізму, однак є легшими у реалізації.

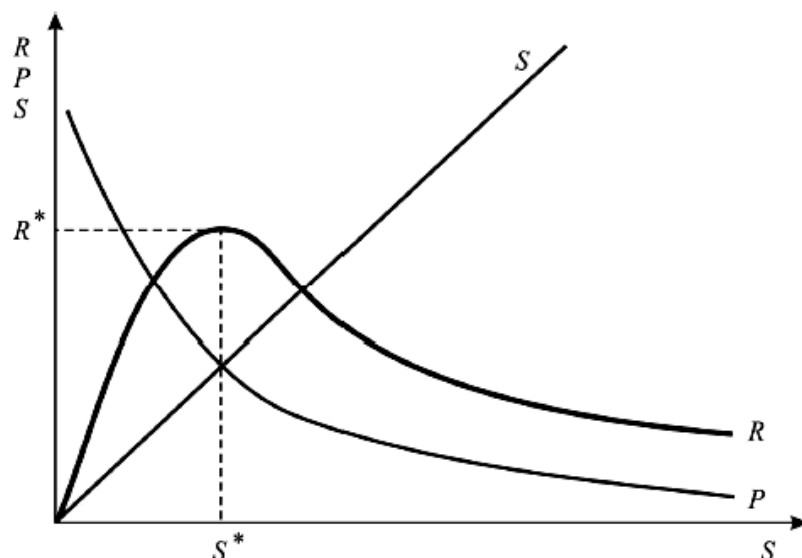


Рис. 4.1 – Залежність коефіцієнта ризику R та ймовірності реалізації небезпек P від збитків S , що ними завдаються

Приклад. Визначити ризик загибелі людини на виробництві за 9 місяців 2012 р, якщо відомо, що загинуло біля $n = 1296$ людей в Україні, а чисельність тих, що працюють складає $N = 14,0$ млн. чоловік:

$$R_{\text{заг}} = n/N = 1296 / 14000000 = 9,3 \cdot 10^{-5} \quad (4.3)$$

З погляду суспільства, в цілому цікаво порівняння одержаної величини із ступенем ризику звичайних умов людського життя, для того, щоб одержати уявлення на прийнятному рівні ризику і мати основу для ухвалення відповідних рішень.

За даними американських учених індивідуальний ризик загибелі з різних причин, по відношенню до всього населення США за рік складає значення, надані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Ризик загибелі мешканця США від різних причин

| Причини загибелі | Ризик |
|--|-------------------|
| Автомобільний транспорт | $3 \cdot 10^{-4}$ |
| Падіння | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| Пожежа і опік | $4 \cdot 10^{-5}$ |
| Потонуло | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| Отруєння | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| Вогнепальна зброя і верстатне устаткування | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| Водний, повітряний транспорт | $9 \cdot 10^{-6}$ |
| Падаючі предмети, електричний струм | $6 \cdot 10^{-6}$ |
| Блискавка | $5 \cdot 10^{-7}$ |
| Ураган, торнадо | $4 \cdot 10^{-7}$ |

Таким чином, повна безпека не може бути гарантована нікому, незалежно від способу життя. При зменшенні ризику нижче за рівень $1 \cdot 10^{-6}$ в рік громадянськість не виражає надмірної заклопотаності, і тому рідко вживає спеціальні заходи для зниження ступеня ризику. (Наприклад, ми не проводимо своє життя в страху загинути від удару блискавки). Ґрунтуючись на цій передумові, багато фахівців приймають величину $1 \cdot 10^{-6}$ як той рівень, до якого слід прагнути, встановлюючи ступінь ризику для технічних об'єктів. У багатьох країнах ця величина закріплена в

законодавчому порядку. Малим вважається ризик $1 \cdot 10^{-8}$ в рік.

Необхідно відзначити, що оцінку ризику тих або інших подій можна проводити тільки за наявності достатньої кількості статистичних даних. Інакше дані будуть не точні, оскільки тут йде мова про так звані «рідкісні явища», до яких класичний імовірнісний підхід не застосовний. Так, наприклад, до Чорнобильської аварії ризик загибелі в результаті аварії на атомній електростанції оцінювався в $2 \cdot 10^{-10}$ в рік.

Коефіцієнт індивідуального ризику та ефективність функціонування систем безпеки. Абсолютна безпека не може бути гарантована жодному живому індивідууму, незалежно від його способу життя. Сьогодні прийнято, що допустимим рівнем ризику є значення коефіцієнта індивідуального ризику порядку 10^{-6} рік⁻¹. Діяльність людини за рівнем ризику поділяють на чотири категорії, наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Категорії діяльності людини за рівнем ризику

| Категорія | Якісна оцінка діяльності | Коефіцієнт індивідуального ризику, рік ⁻¹ |
|-----------|--------------------------|--|
| I | Безпечна | $R < 10^{-4}$ |
| II | Прийнятна | $10^{-4} < R < 10^{-3}$ |
| III | Небезпечна | $10^{-3} < R < 10^{-2}$ |
| IV | Особливо небезпечна | $R > 10^{-2}$ |

Аналіз ризику дозволяє виявити найбільш небезпечні діяльності людини. За даними американських учених найбільшу частоту нещасних випадків із смертельним результатом (за часом доби) складає поїздка на роботу та їзда на мотоциклі, усі інші (сон, розваги та інше) значно менше. Таким чином, повинні розглядатися всі технічні і соціальні аспекти в їх взаємозв'язку. При цьому можливо забезпечити прийнятний ризик, який поєднує в собі технічні, економічні, соціальні і політичні аспекти і є деяким компромісом між рівнем безпеки і можливостями її досягнення.

Контрольні запитання (Лекція 4)

1. Що таке надійність?
2. Надайте кількісну оцінку ризику
3. Чим відрізняється ризик та загроза між собою?

ЛЕКЦІЯ 5

Основи теорії розрахунку надійності технічних систем. Попередні зауваження

Розвиток космонавтики і ядерної енергетики, ускладнення авіаційної техніки привело до того, що вивчення безпеки систем було виділено в незалежну окрему область діяльності. У 1969 р. Міністерство Оборони США прийняло стандарт MIL—STD - 882 «Програма по забезпеченню надійності систем, підсистем і устаткування». Вимоги, як основний стандарт, для всіх промислових підрядчиків за військовими програмами. А паралельно Міністерство Оборони США розробило вимоги по надійності, працездатності і ремонтпридатності промислових виробів.

Дослідження ризику проводиться в три стадії. Перша стадія: попередній аналіз безпеки. Ризик найчастіше пов'язаний з безконтрольним звільненням енергії або витоками токсичних речовин (чинники миттєвої дії). Звичайно одні відділення

підприємства представляють більшу небезпеку, ніж інші, тому на самому початку аналізу слід розбити підприємство, для того, щоб виявити такі ділянки виробництва або його компоненти, які є вірогідними джерелами безконтрольних витоків. Тому першим кроком буде:

1) Виявлення джерел небезпеки (наприклад, чи можливі витoki отруйних речовин, вибухи, пожежі і т.п.);

2) Визначення частин системи (підсистем), які можуть викликати ці небезпечні стани (хімічні реактори, місткості і сховища, енергетичні установки і ін.)

Засобами до досягнення розуміння небезпек в системі є інженерний аналіз і детальний розгляд навколишнього середовища, процесу роботи і самого устаткування. При цьому дуже важливо знання ступеня токсичності, правил безпеки, вибухонебезпечних умов, проходження реакцій, корозійних процесів, умов займистості і т.д.

3) Введення обмежень на аналіз ризику (наприклад, потрібно вирішити, чи буде він включати детальне вивчення ризику в результаті диверсій, війни, помилок людей, поразки блискавкою, землетрусів і т.д.).

Таким чином, метою першої стадії аналізу ризику є визначення системи і виявлення у загальних рисах потенційних небезпек.

Небезпеки після їх виявлення, характеризуються відповідно до наслідків, що викликаються ними. Характеристика проводиться відповідно до категорій критичності:

- 1 клас - нехтуючи ефекти;
- 2 клас - граничні ефекти;
- 3 клас - критичні ситуації;
- 4 клас - катастрофічні наслідки.

Надалі необхідно накреслити попереджувальні заходи (якщо таке можливо) для виключення небезпек 4-го класу (3-го, 2-го) або пониження класу небезпеки. Можливі рішення, які слід розглянути, представляються у вигляді алгоритму, званого деревом рішень для аналізу небезпек (рис. 5.1).

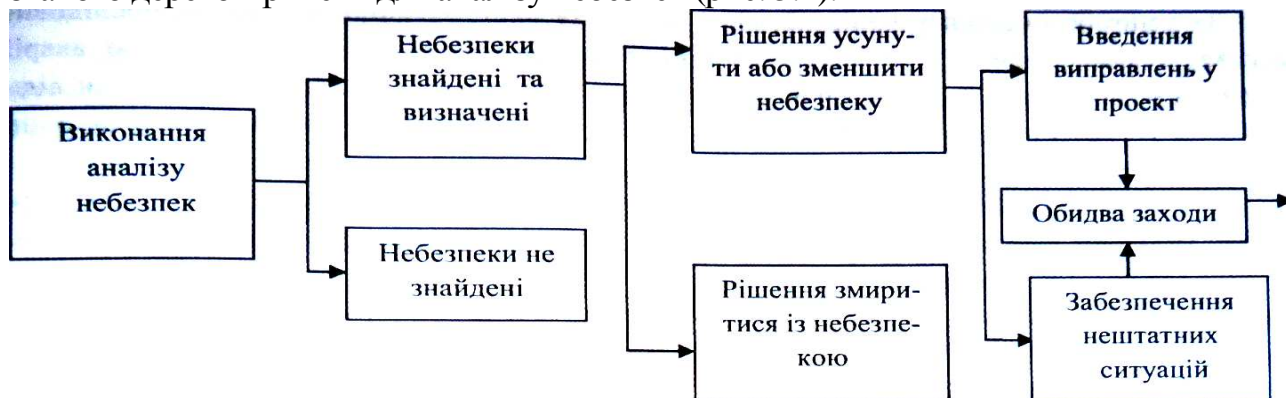


Рис. 5.1 — Дерево рішень

Після цього можна ухвалити необхідні рішення по внесенню виправлень у проект в цілому або змінити конструкцію устаткування, змінити цілі і функції, і внести нештатні дії з використанням запобіжних і попереджувальних пристроїв.

Якісна оцінка потенційних наслідків для кожного небезпечного стану відповідно до наступних критеріїв:

- клас 1 - безпечний (стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції або її невідповідністю проекту, а також неправильною роботою), не

приводить до істотних порушень і не викликає пошкоджень устаткування і нещасних випадків з людьми;

- *клас 2* - граничний (стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції або її невідповідністю проекту, а також неправильною роботою), приводить до порушень в роботі, може бути компенсовано або узято під контроль без пошкоджень устаткування або нещасних випадків з персоналом;
- *клас 3* - критичний: (стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції або її невідповідністю проекту, а також неправильною роботою), приводить до істотних порушень в роботі, пошкодженню устаткування і створює небезпечну ситуацію, ситуацію що вимагає негайних заходів по порятунку персоналу і устаткування;
- *клас 4* - катастрофічний (стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції або її невідповідністю проекту, а також неправильною роботою), приводить до подальшої втрати устаткування і (або) загибелі або масового травмування персоналу.

Таким чином, попередній аналіз безпеки є першою спробою виявити устаткування технічної системи і окремі події, які можуть привести до виникнення небезпек і виконується на початковому етапі розробки системи. Друга стадія: виявлення послідовності небезпечних ситуацій.

Друга стадія починається після того, як визначена конфігурація системи і завершений попередній аналіз небезпек. Подальше дослідження проводять за допомогою двох основних аналітичних методів:

- 1) побудови дерева подій;
- 2) побудови дерева відмов.

За допомогою аналізу видів відмов і наслідків систематично, на основі послідовного розгляд) одного елемента за іншим аналізуються всі можливі види відмов або аварійні ситуації і виявляються їх результуючі дії на систему. Окремі аварійні ситуації і види відмов елементів виявляються і аналізуються для того, щоб визначити їх дію на інші довколишні елементи і систему в цілому.

Аналіз видів відмов і наслідків істотно детальніший, ніж аналіз за допомогою дерева відмов, оскільки при цьому необхідно розглянути всі можливі види відмов або аварійні ситуації для кожного елемента системи.

Наприклад, реле може відмовити з наступних причин:

- контакти не розімкнулися або не замкнулися; - запізнювання в замиканні або розмиканні контактів; - коротке замикання контактів на корпус, джерело живлення, між контактами і в ланцюгах управління;
- брязкіт контактів (нестійкий контакт);
- контактна дуга, генерування перешкод;
- розрив обмотки;
- коротке замикання обмотки;
- низький або високий опір обмотки;
- перегрів обмотки.

Для кожного виду відмови аналізуються наслідки, намічаються методи усунення або компенсації відмов.

Додатково для кожної категорії повинен бути складений перелік необхідних

перевірок. Наприклад, для баків, ємностей, трубопроводів цей перелік може включати наступне:

- змінні параметри (витрата, кількість, температура, тиск, насичення і т.д.);
- системи (нагріву, охолодження, електроживлення, управління і т.д.);
- особливі стани (обслуговування, включення, виключення, заміна вмісту і т.д.);
- зміна умов або стану (дуже великі, дуже малі, гідроудар, осад, незміщуваність, вібрація, розрив, витік і т.д.)

Аналіз критичності. Цей вид аналізу передбачає класифікацію кожного елемента відповідно до ступеня його впливу на виконання загального завдання системою.

Встановлюються категорії критичності для різних видів відмов:

- **категорія 1** - відмова, що приводить до додаткового незапланованого обслуговування;
- **категорія 2** - відмова, що приводить до затримок в роботі або втраті працездатності;
- **категорія 3** - відмова, що потенційно приводить до невиконання основного завдання;
- **категорія 4** - відмова, що потенційно приводить до жертв.

Даний метод не дає кількісної оцінки можливих наслідків або збитку, але дозволяє відповісти на наступні питання:

- який з елементів повинен бути підданий детальному аналізу з метою виключення небезпек, що приводять до виникнення аварій;
- який елемент вимагає особливої уваги в процесі виробництва; - які нормативи вхідного контролю;
- де слід вводити спеціальні процедури, правила безпеки і інші захисні заходи; - як найефективніше витратити засоби для запобігання аваріям.

На практиці, при дослідженні небезпеки системи, найчастіше послідовно застосовуються різні методи (наприклад, попередній аналіз, потім - дерево відмов, потім - аналіз критичності і аналіз видів відмов і наслідків).

Попередній аналіз небезпек - визначає небезпеки для системи і виявляє елементи для проведення аналізу за допомогою дерева відмов і аналізу наслідків. Частково співпадає з методом аналізу наслідків і аналізом критичності. Переваги: є першим необхідним кроком. Недоліки: ні.

Аналіз за допомогою дерева відмов - починається з ініціюючої події, потім розглядаються альтернативні послідовності подій. Переваги: широко застосовний, ефективний для опису взаємозв'язків відмов, їх послідовності і альтернативних відмов. Недоліки: великі дерева відмов важкі в розумінні, потрібне використання складної логіки. Непридатні для детального вивчення.

Аналіз видів відмов і наслідків - розглядає всі види відмов по кожному елементу. Орієнтований на апаратуру. Переваги: простий для розуміння, широко застосовний, несуперечливий, не вимагає застосування математичного апарату. Недоліки: розглядає безпечні відмови, вимагає багато часу, часто не враховує поєднання відмов і людського чинника.

Аналіз критичності - визначає і класифікує елементи для удосконалення системи. Переваги: простий для користування і розуміння, не вимагає застосування

математичного апарату. Недоліки: часто не враховує ергономіку, відмови із загальною причиною і взаємодію системи.

Одним із способів оцінки зменшення ризику є порівняння оцінюваних витрат з очікуваними результатами в грошовому виразі. Цей вид аналізу суперечливий, оскільки вимагає оцінки безпеки для людського життя у вартісному виразі.

У дослідницькій лабораторії "Дженерал моторе" розроблено спосіб оцінки, що не стосується цієї проблеми, зосереджує увагу на тривалості життя. Початкова передумова: засоби для скорочення ризику призначені збільшити тривалість життя. У методі використовуються дані по всіх категоріях смертельного ризику і визначається їх вплив на тривалість життя незалежно для кожної категорії. У такий спосіб визначається можливість збільшення тривалості життя в роках або днях завдяки впровадженню заходів щодо зменшення ризику. У поєднанні з оцінками витрат це допомагає визначити ефективність таких заходів.

Головною метою при вивченні небезпек, властивих системі, є визначення причинних взаємозв'язків між початковими (висхідними) аварійними подіями, що відносяться до устаткування, персоналу і навколишнього середовища і приводять до аварій в системі, а також відшукування способів усунення шкідливих дій шляхом перепроєктування системи або її удосконалення.

Причинні взаємозв'язки можна встановити за допомогою одного з розглянутих методів, і потім піддати якісному і кількісному аналізу. Після того, як поєднання вихідних аварійних (які ведуть до виникнення небезпечних ситуацій в системі) виявлені, система може бути вдосконалена і небезпеки зменшені.

Контрольні запитання (Лекція 5)

1. Наведіть стадії дослідження ризику.
2. Що таке «аналіз критичності»?
3. Аналіз за допомогою «дерева відмов».
4. Аналіз за допомогою «дерева рішень».

ЛЕКЦІЯ 6

Основні поняття теорії надійності. Об'єкт, елемент, система. Стан об'єкту. Перехід об'єкту в різні стани. Тимчасові характеристики об'єкту. Визначення надійності

Система і елементи. Під системою розуміють сукупність елементів, що взаємодіють між собою в процесі виконання заданих функцій. Елементом системи називають зіставну частину системи, яка розглядається без подальшого розподілу як єдине ціле; внутрішня структура елемента при цьому розгляді не є предметом дослідження.

Поняття "система" і "елементи" виражені одне через інше і умовні: те, що є системою для одних завдань, для інших приймається елементом залежно від цілей вивчення, необхідної точності, рівня знань про надійність і т. д.

Стани системи можуть бути також розділені на *справний* (при якому система відповідає усім вимогам нормативно-технічної і конструкторської документації) і *несправний* (при якому є хоч би одна невідповідність цим вимогам).

Відмінність між справним і працездатним станами полягає в наступному.

Працездатна система задовольняє тільки тим вимогам, які істотні для функціонування, і може не задовольняти іншим вимогам (наприклад, по збереженню зовнішнього вигляду елементів). Система, що знаходиться в справному стані, свідомо працездатна.

Подія, що полягає в порушенні працездатності системи, тобто в переході її з працездатного в непрацездатний стан, називається *відмовою*. Подія, що пов'язана з переходом системи із справного в несправний (але працездатний) стан, називається ушкодженням. Предметом подальшого вивчення будуть, як правило, відмови. Ознака або сукупність ознак, по яких встановлюється факт виникнення відмови, називають *критеріями відмови*.

Відновленням називається подія, що полягає в переході системи з непрацездатного в працездатний стан. Відповідно до невідновних відносять системи, відновлення яких безпосередньо після відмови є недоцільним або неможливим, а до відновних – в яких проводиться відновлення безпосередньо після відмови.

Одна і та ж система в різних умовах застосування може бути віднесена до невідновних (наприклад, якщо вона розташована в приміщенні, що не обслуговується, куди заборонено доступ персоналу під час роботи технологічного агрегату) і до відновлюваних, якщо персонал відразу ж після відмови може почати відновлення. Само поняття "Відновлення" слід розуміти не лише як коригування, побудову, пайку або інші ремонтні операції по відношенню до тих або інших технічних засобів, але і як заміну цих засобів.

В принципі переважна більшість систем підлягають відновленню після відмови, після чого вони знову продовжують роботу. Те ж відноситься до більшої частини технічних засобів; до невідновних можна віднести тільки такі їх елементи, як інтегральні схеми, резистори, конденсатори і тому подібне

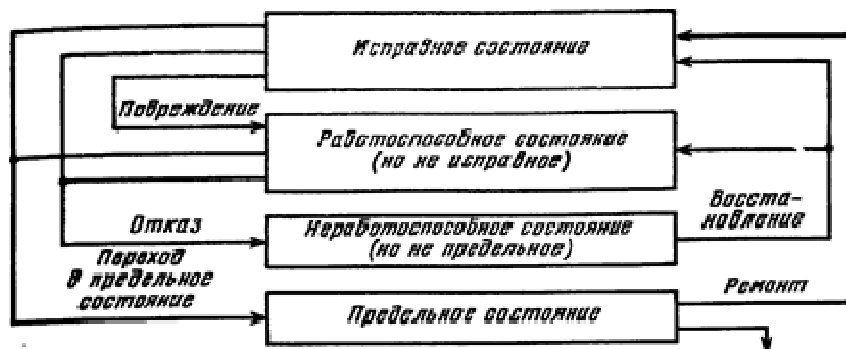


Рис. 6.1 – Схема основних станів і подій відновлюваної системи

Схема основних станів і подій, характерних для відновлюваних систем, приведена на рис. 6.1. На цій схемі виділений також граничний стан, при якому подальше застосування системи за призначенням неприпустимо або недоцільно. Граничний стан може мати місце, якщо подальше відновлення працездатного стану неможливе або недоцільно. Після попадання в граничний стан може слідувати ремонт (капітальний або середній), внаслідок чого відновлюється справний стан, або ж система остаточно припиняє використовуватися за призначенням.

Поняття "Напрацювання до відмови". Розглянемо систему, що починає функціонувати у момент часу $t=0$, причому у цей момент система знаходиться в

працездатному стані. Припустимо спочатку, що така система відключається тільки внаслідок відмови. Позначимо через T час, що пройшов від моменту початку функціонування до моменту відмови. Величина T залежить від випадкових відхилень технологічних умов виготовлення окремих елементів від номінальних, різних умов транспортування, монтажу, наладки і не буде однакою у різних систем навіть при абсолютно однакових умовах експлуатації. До того ж самі умови експлуатації (температура, вібрація, якість технічного обслуговування, частота включення і т. д.) певною мірою відмінні один від одного, тому величина T випадкова.

Відключення системи можуть відбуватися не лише із-за її відмов, але і для проведення технічного обслуговування, внаслідок відмов технологічного агрегату, із-за циклічного графіка роботи системи, коли вона включається на деякі проміжки часу, визначувані технологічним режимом (наприклад, в АСУ безперервно-дискретними технологічними процесами).

Тривалість роботи системи в цій ситуації носить назва *напрацювання*, а випадкова величина - тривалість роботи повністю називається *напрацюванням до відмови*, яку також позначатимемо T . Напрацювання повністю на відміну від часу безвідмовної роботи не завжди вимірюється одиницями часу; напрацювання повністю може вимірюватися і числом включень (спрацьовувань, циклів). Проте для більшості систем напрацювання повністю вимірюється одиницями часу.

Очевидно, що для систем, що працюють без відключень (окрім відмов), напрацювання повністю співпадає з часом безвідмовної роботи.

Надійність. Властивість системи зберігати в часі у встановлених межах значення усіх параметрів, що характеризує здатність системи виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації називають *надійністю*.

Надійність є комплексною властивістю, що включає чотири складові: безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність і збереженість.

Під безвідмовністю розуміється властивість системи зберігати працездатність (виконувати свої функції з експлуатаційними показниками не гірше за заданих) протягом потрібного інтервалу часу безперервно без вимушених перерв. Безвідмовність є найбільш важливою компонентою надійності, оскільки вона відбиває здатність тривалий час функціонувати без відмов. Безвідмовність систем у вирішальній мірі впливає на ефективність їх використання і визначається кількістю і безвідмовністю елементів, режимом їх роботи, наявністю резервування, параметрами довкілля (температурою, запиленістю) та ін.

Ремонтпридатність є властивістю системи, що полягає в її пристосованості до попередження, знаходження і усунення причин виникнення відмов, а також підтримці і відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів. Ремонтпридатність залежить від того, чи виконані елементи у вигляді окремих, легко замінюваних блоків, а також від використання засобів вбудованого контролю працездатності і діагностики. Слід зазначити, що характеристики ремонтпридатності істотно залежать не лише від властивостей самої системи, але і від кваліфікації обслуговуючого персоналу і від організації експлуатації.

Довговічність - властивість системи зберігати роботоспроможність до настання граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування

і ремонтів. Довговічність системи залежить від довговічності технічних засобів і від схильності системи моральному старінню.

Збереженість характеризує властивість системи зберігати значення показників безвідмовності і ремонтпридатності в течію і після терміну зберігання і транспортування. Оскільки системи в цілому не зберігаються, а можуть зберігатися тільки окремі технічні засоби і їх елементи, та властивість збереженості для систем не-суттєво. Для технічних засобів і елементів ця властивість має певне значення, але менш важливе, чим попередні властивості, оскільки ці засоби зазвичай транспортуються тільки один раз – від заводу-виготовника до місця установки і тривалість їх зберігання від моменту вступу до монтажу і наладки (окрім технічних засобів і елементів, використовуваних як запасні частини) відносно невелика. Внаслідок цього питання збереженості нижче розглядатися не будуть.

Показниками надійності називаються кількісні характеристики однієї або декількох властивостей, що становлять надійність системи. При виборі показників надійності слід мати на увазі, що ці показники повинні досить повно описувати надійнісні властивості системи, бути зручними для аналітичного розрахунку і експериментальною перевірки за результатами випробувань, повинні мати розумний фізичний сенс і, нарешті, допускати можливість переходу до показників ефективності.

Для невідновних систем обмежимося показниками безвідмовності.

Контрольні запитання (Лекція 6)

1. Що таке надійність?
2. Що таке напрацювання до відмови?
3. Як називається ознака або сукупність ознак, по яких встановлюється факт виникнення відмови?
4. Назвіть складові надійності.
5. Що таке безвідмовність?

ЛЕКЦІЯ 7

Резервування. Види резервування. Способи структурного резервування.

Надійність резервованої системи

Для підвищення надійності систем і елементів застосовують резервування, засноване на використанні того або іншого виду надмірності. Остання визначає наступні різновиди резервування: функціональне, тимчасове, інформаційне, структурне.

У тому випадку, якщо різні системи або пристрої виконують близькі функції, здійснюється *функціональне резервування*. Таке резервування часте застосовують для багатофункціональних систем. Так, значення температури пари на виході котла може бути визначене за показниками потенціометра, що здійснює в комплекті з термоелектричним перетворювачем індивідуальний контроль відповідального параметра, і за допомогою виклику цього параметра на електронно-променевий індикатор інформаційно-вимірювальної системи, що здійснює розрахунки техніко-економічних і інших показників.

Тимчасове резервування полягає в тому, що допускається перерва функціонування системи або пристрої через відмову елемента. У багатьох випадках тимчасове

резервування, що забезпечує безперервність технологічного процесу, здійснюється за рахунок уведення ємностей, що акумулюють, складів сировини й напівфабрикатів. Тимчасове резервування також може мати місце через здатність, що акумулює, технологічного об'єкта. Так, короточасна перерва в подачі палива не приведе до припинення генерації пари через акумуляцію теплоти поверхням нагрівання казана.

Інформаційне резервування пов'язане з можливістю компенсації втрати інформації з одного каналу інформацією з іншого. На більшості технологічних об'єктів, завдяки внутрішнім зв'язкам, має місце інформаційна надмірність, яка часто використовується для оцінки вірогідності інформації. Так, усереднена витрата пари на виході казана відповідає усередненій витраті води на його виході, витрата газу на казані визначає витрата повітря при фіксованому составі димових газів.

Для локальних систем найбільше характерно *структурне резервування*. При використанні останнього підвищення надійності досягається шляхом уведення додаткових елементів у структуру системи. Структурне резервування розділяють на загальне й заелементне (роздільне). У першому випадку система або пристрій резервуються в цілому, у другому резервуються окремі елементи або їх групи. Якщо резервні елементи функціонують нарівні з основними, то має місце постійне резервування, що є пасивним. Схеми загального (а) і заелементного (б) постійного резервування наведені на рис. 7.1.

Якщо резерв уводиться до складу систем після відмови основного елемента й супроводжується перемикаючими операціями, то має місце резервування заміщенням — активне резервування.

При цьому способі резервування (рис. 7.1, в й г) резервні елементи можуть перебувати в навантаженому, полегшеному й ненавантаженому стані. При навантаженому (гарячому) резерві інтенсивність відмов основного λ_o й резервного λ_n елементів однакова, $\lambda_o = \lambda_n$. У полегшеного (теплого) резерву інтенсивність відмов резервних елементів $\lambda_{об}$ нижче, чим в основних працюючих, $\lambda_o > \lambda_{об}$. При ненавантаженому (холодному) резерві ймовірністю відмов елементів у стані резерву зневажають, $\lambda_x = 0$.

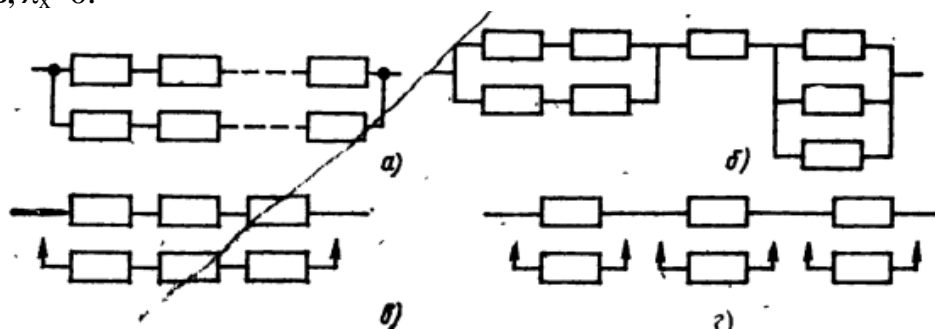


Рис. 7.1 – Види резервування

При резервуванні заміщенням один і той же резерв може бути використаний для заміни кожного з ряду однотипних елементів. Такий спосіб резервування називають *ковзним* або з *неоднозначною відповідністю*.

Широко використовуються всі розглянуті способи резервування. У локальних системах основному застосовують заелементне (рис. 7.1,г) резервування заміщенням з ненавантаженим резервом. Первинні та вторинні прилади, що відмовили, виконавчі механізми замінюють справними, що зберігаються на складі. Оскільки заміна

регулювального органа супроводжується, як правило, зниженням продуктивності об'єкта або його зупиненням, те для регулювальних органів використовують постійне резервування в комбінації з резервуванням заміщенням. Навантажений і полегшений резерв використовують при резервуванні елементів обчислювального комплексу (блоків живлення, процесора й ін.).

Для характеристики співвідношення між загальним числом однотипних елементів n і числом r необхідних для функціонування системи працюючих елементів вводиться поняття кратності резервування

$$k = (n-r)/r. \quad (7.1)$$

Значення k може бути цілим, якщо $r = 1$ і дробовим, якщо $r > 1$. В останньому випадку дріб (7.1) не можна скорочувати. Ковзне резервування є різновидом резервування із дробовою кратністю.

Оскільки структурне резервування сполучене з додатковими витратами на резервні елементи, те останні повинні окупатися за рахунок підвищення надійності системи й зниження втрат від її відмов. Показниками ефективності резервування, найбільш простими для визначення є наступні:

$$\begin{aligned} B_{\tau} &= \tau_p / \tau; \\ B_p &= P_p / P_{ж}; \\ B_Q &= Q / Q_p, \end{aligned}$$

де B_{τ} — вираш за рахунок підвищення середнього наробітку до відмови резервованої системи τ_p у порівнянні з наробітком нерезервованої системи τ ; B_p ; B_Q — аналогічні показники по підвищенню ймовірності безвідмовної роботи й зниженню ймовірності відмови. Резервування ефективне, якщо значення показників B_{τ} , B_p , B_Q більше одиниці.

Оскільки локальні системи включають до свого складу елементи, що мають різний вид резерву, то для розрахунків надійності систем необхідно розглянути методи розрахунків надійності елементів при різних способах резервування. Найпростіший варіант цього завдання — визначення показників безвідмовності систем, що містять резервовані невідновлювані елементи.

Контрольні запитання (Лекція 7)

1. Які види резервування ви знаєте?
2. Назвіть показники ефективності резервування.
3. Що таке кратність резервування?

ЛЕКЦІЯ 8

Надійність резервованої системи у разі комбінацій відмов і зовнішніх дій.

Аналіз надійності систем при множинних відмовах. Модель надійності системи з множинними відмовами. Розрахунок надійності технічних систем. Основи розрахунку надійності технічних систем за надійністю їх елементів. Способи перетворення складних структур. Оцінка надійності людини як ланки складної технічної системи. Причини здійснення помилок. Методологія прогнозування помилок

Надійність комплексу технічних засобів

Надійність комплексу технічних засобів виявляє найбільший, істотний вплив

на надійність АСУ ТП, тому приблизно надійність АСУ ТП найчастіше оцінюють із обліком тільки комплексу технічних засобів.

Критерії відмов технічних засобів (ТЗ), як правило, установлюються відповідно до вимог, зазначених у стандартах, технічних умовах або іншій технічній документації на ці ТЗ. Оскільки більшість ТЗ мають загальнопромислове призначення, то вимоги задаються безвідносно до тем системам, у яких ці ТЗ функціонують. Критерії відмов ТЗ при цьому не залежать від характеристик керованого об'єкта й вимог до якості керування.

Розглянемо класифікацію відмов ТЗ. Відмови ТЗ залежно від характеру зміни параметрів ТЗ до моменту виникнення відмови можна розділити на раптові й поступові. Відмови, які настають у результаті різкої, стрибкоподібної зміни одного з параметрів, називають *раптовими*. Відмови, що настають у результаті тривалої, поступової зміни параметрів, називають *поступовими*. Розмежування відмов на раптові й поступові є до деякої міри умовним і залежить від можливості контролю процесів зміни параметрів. Раптові відмови звичайно мають характер обривів, поломок, замикань і часто проявляються в порушенні ланцюга проходження сигналу (наприклад, згоряння терморпар, злипання контактів магнітного пускача). Поступові відмови часто мають характер розрегуляції (наприклад, дрейф нуля підсилювача).

За ступенем порушення працездатності відмови розділяють на *повні* (після яких функціонування ТЗ повністю припиняється) і *часткові* (після яких може тривати функціонування ТЗ із погіршеними показниками). Такий розподіл відмов часто проводиться для ТЗ, що беруть участь у виконанні декількох функцій і (або) по декільком каналах. Повною відмовою при цьому є припинення виконання всіх функцій по всіх каналах, частковою — припинення виконання частини функцій і (або) по частині каналів.

За характером зовнішніх проявів відмови розділяють на *явні*, тобто ті, що виявляються безпосередньо після виникнення, і *неявні (сховані)*, що не виявляються безпосередньо після їхнього виникнення. Для явних відмов часом їх виявлення (інтервалом часу між моментом відмови й моментом, коли про цю відмову стає відомо персоналу) можна зневажити. Для неявних відмов час виявлення є суттєвим.

Неявні відмови, наприклад, часто мають місце в засобах вимірів внаслідок виходів нормованих метрологічних характеристик за межі припустимих значень. Такі відмови (часто називані метрологічними) можуть виявлятися не в момент виникнення, а лише при перевірках за допомогою спеціальних вимірювальних операцій, що вимагають застосування зразкових засобів вимірів.

За зв'язком з попередньою відмовою відмови розділяють на *первинні*, що не є наслідком раніше виниклих відмов, і *вторинні*, що є наслідком раніше виниклих відмов. Наприклад, значна частина відмов електричних виконавчих механізмів є вторинні, що виникли внаслідок перевантаження по струму в силових ланцюгах електродвигуна при одночасному неспрацьовуванні захисту, що приводить до згоряння обмотки електродвигунів.

Конкретизуємо визначення часу відновлення ТС, для чого розглянемо його основні складові. Час відновлення завжди містить у собі час T_{e1} пошуку причини відмови й час T_{e2} його усунення (рис. 8.1,а). Оперативний час відновлення

$$T_{в.оп} = T_{в1} + T_{в2}. \quad (8.1)$$

При експлуатації ТЗ в (8.1) можуть бути додані терміни:

T_{63} — очікування від моменту виявлення відмови до початку пошуку його причини. (Цей час може суттєво перевищувати T_{61} і T_{62} на підприємствах, де технологічне встаткування працює цілодобово, а ремонтний персонал — в одну зміну);

T_{64} — забезпечення персоналу інструментами, матеріалами, запасними частинами;

T_{65} — очікування від моменту закінчення усунення відмови до моменту включення ТЗ;

T_{66} і T_{67} — демонтаж і монтаж ТЗ.

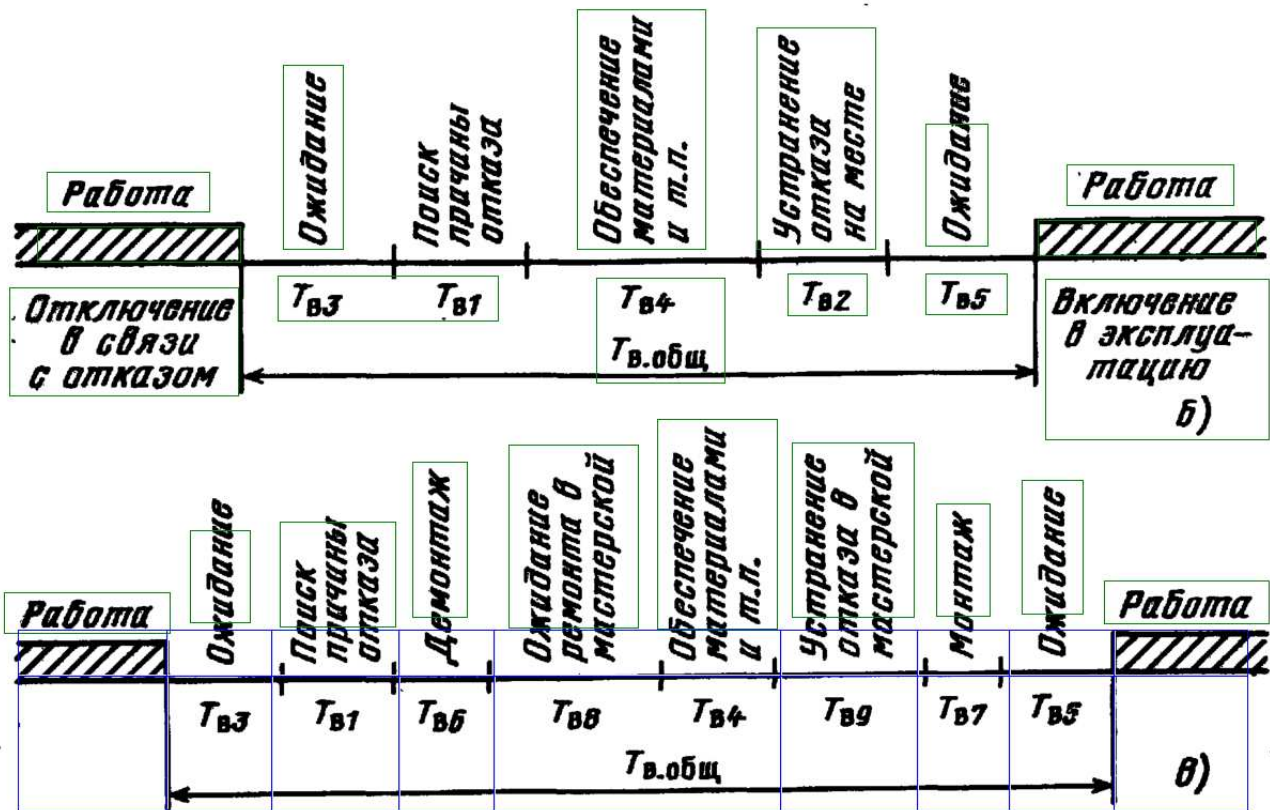


Рис. 8.1 – Приклади структури часу відновлення

На рис. 8.1,б наведена структура часу відновлення, проведеного безпосередньо на місці установки, що відмовив ТЗ без його заміни. Загальний час відновлення

$$T_{в.общ} = \sum_{i=1}^5 T_{ви}.$$

На рис. 8.1,в розглянутий випадок, коли відновлення проведено шляхом демонтажу технічного засобу, що відмовив, його наступного ремонту в майстерні й монтажу на колишньому місці. При цьому загальний час відновлення

$$T_{в.общ} = \sum_{i=1,3-9} T_{ви},$$

де T_{68} — тривалість очікування ремонту в майстерні; T_{69} — час усунення відмови в майстерні.

Як правило, ці показники встановлюються при наступних умовах: температура навколишнього повітря $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$; відносна вологість $30 \div 80\%$; тиск $630 \div 800$ мм рт. ст., відхилення напруги живлення мережі $+10 \div 15\%$. Час t_l , на якому задається ймовірність безвідмовної роботи, звичайно ухвалюється рівним 2000 год,

за винятком ТС, призначених для атомних станцій, де $t_f=8000$ год. Відзначимо, що завдання показників безвідмовності й довговічності для ТЗ є обов'язковим.

Надійність програмного забезпечення (ПЗ). Теорія надійності, що будувалася для опису технічних об'єктів, включаючи технічні засоби АСУ ТП. Відмови відбуваються через руйнування й старіння компонентів, причому відновлення вимагає ремонту, регулювання, заміни компонентів або технічного засобу. Руйнування й старіння не властиве ні програмному забезпеченню системи в цілому, ні окремим програмам. Проте можливе перенесення деяких понять, термінів і методів надійності й на ПЗ (ухвалюючи при цьому певну умовність такого підходу).

При розробці ПЗ може виникнути ряд причин, що приводять до виникнення помилок: неправильне розуміння програмістом алгоритму; неправильне складання загальної структури ПЗ і взаємозв'язку програм; неправильний вибір методів захисту програм; помилки в переносі програм на носії й ін.

Налагодження ПЗ не може усунути всі помилки, тому що число можливих комбінацій вхідних даних і станів системи при її функціонуванні настільки велике, що заздалегідь перевірити всі можливі галузей проходження програм практично неможливо. Тому потік моментів прояву помилок ПЗ при функціонуванні АСУ ТП носить випадковий характер: помилки проявляються у випадкові моменти часу, коли програма вийде на той ділянка, де є помилка.

Основні відмінності помилок ПЗ від відмов ТЗ полягають у наступному. Після виправлення помилки в програмі ця ж помилка надалі не може повторитися. Більше того, помилки, виявлені в ПЗ одній з декількох однотипних систем, звичайно виправляються у всіх таких системах. Потік помилок ПЗ нестаціонарний, тому що в міру виявлення помилок параметр їх потоку зменшується. Відмови ТС по одній і тій же причині носять повторюваний характер; після відновлення такий же відмова й цього, і інших аналогічних засобів по тій же причині може повторитися знову.

Існують два підходи до вибору показників надійності ПЗ. З одного боку, можливо використовувати звичайні показники надійності, такі як імовірність відсутності помилок за час t_f ; середній час між помилками; середній час відновлення ПЗ після припинення функціонування й т.п. Дані показники характеризують прояв помилок ПЗ у часі, тому їх доцільно використовувати для ПЗ, безупинно експлуатованого при керуванні технологічним об'єктом. Для програм, використовуваних нерегулярно (при необхідності), можливе застосування таких показників, як імовірність успішного виконання одного прогону програми, імовірність того, що дане ПЗ зуміє розв'язати довільне завдання з потоку реальних завдань.

З іншого боку, для опису надійності ПЗ можуть бути використані спеціальні показники, характерні тільки для ПЗ, що й відбивають, головним чином, якість виконання ПЗ. Насамперед це показники коректності ПЗ: передбачуване число помилок у ПЗ або щільність помилок (число помилок на одну команду). Інші показники характеризують такі властивості ПО, як стійкість — здатність ПЗ функціонувати в умовах збурювань зовнішнього середовища, виправленість (рос. *справляемость*) — здатність ПЗ до внесення виправлень, захищеність ПЗ від внесення викривлень при сторонньому втручанні й ін. Однак до теперішнього часу відсутні методики практичного визначення показників даного виду для ПЗ в АСУ ТП.

Оперативний персонал (оператор-технолог) у складі АСУ ТП бере безпосеред-

ню участь у реалізації її функцій. Роль оперативного персоналу полягає в наступному:

- спостереження за ходом технологічного процесу й правильністю функціонування АСУ ТП;
- настроювання, запуск і корекція роботи технічних засобів ухвалення рішення по керуванню технологічним процесом за неалгоритмізованими правилами;
- безпосередній вплив на хід технологічного процесу включенням і відключенням регулювальних органів і механізмів у деяких режимах роботи об'єкта (наприклад, пускових) або при відмовах технічних засобів.

Використання оперативного персоналу як резервної ланки системи керування дозволяє підвищити надійність виконання функцій АСУ ТП. У той же час недостатня надійність цього персоналу при виконанні їм основних функцій керування знижує загальну надійність функціонування АСУ ТП.

Під *надійністю людини-оператора* розуміється сукупність його властивостей, що проявляються при його участі у функціонуванні АСУ ТП, що й впливають на надійність АСУ ТП. Основними із цих властивостей є: *безпомилковість* — здатність людини-оператора виконувати всі задані операції в заданому порядку; *своєчасність* — здатність людини-оператора виконувати задані операції за заданий час.

Оператор як елемент АСУ ТП у завданнях надійності має ряд істотних особливостей. До них відносяться адаптація до умов праці, істотна відмінність характеристик різних операторів друг від друга, стомлюваність, схильність емоційним впливам. Загальним для всіх операторів є однакові вимоги до рівня їх професійної підготовки при допуску до роботи з керування об'єктом.

Алгоритмізованій діяльності оператора по виконанню якої-небудь функції АСУ ТП можна поставити у відповідність набір процедур, кожна з яких полягає в реалізації певних операцій у заданій послідовності. Потік вимог (запитів) на виконання процедури, у всякому разі при режимі роботи об'єкта, що встановився (наприклад, базовому режимі енергоблоку АЕС), можна прийняти найпростішим. Тривалість виконання процедури різна (від декількох секунд при однократному звертанні до дисплея при контролі по викликові до декількох годин при неавтоматичному керуванні після відмови технічних засобів).

Показниками надійності людини-оператора можуть бути:

- імовірність R_6 безпомилкового виконання процедури, тобто ймовірність того, що при виконанні розглянутої процедури будуть правильно виконані саме ті операції, які становлять дану процедуру, і саме в заданій послідовності [наприклад, імовірність безпомилкового виконання вимоги по керуванню запірною (двопозиційною) арматурами];
- імовірність R_c своєчасного виконання процедури, тобто ймовірність того, що сукупність усіх операцій, що становлять дану процедуру, буде виконана за час, що не перевищує припустимий (наприклад, імовірність своєчасного перемикачання регулятора з автоматичного режиму на неавтоматичний за час не більш заданого). Якщо ж тривалість t виконання процедури має порядок години й більш, то показником надійності може бути ймовірність $P(t)$ безпомилкових, своєчасних (а також точних) дій оператора за час t (наприклад, по неавтоматичній стабілізації деякого параметра).

Надійність (зокрема, безвідмовність і ремонтпридатність) АСУ ТП зв'язана зі

здатністю системи виконувати необхідні функції. Тим самим стає природним використання декомпозиції АСУ ТП як багатофункціональної системи по виконуваних функціях. При завданні показників надійності АСУ ТП їх функції можна класифікувати по двом ознакам: по складності й по тимчасовому режиму виконання.

За складністю функції АСУ ТП ділять на *прості* й *складені*. Простими є функції, розглянуті як нерозкладні на складові. Складені функції містять у собі деяку сукупність простих і (або) складових функцій, поєднаних по спільності мети, ролі в процесі керування, конструктивним, інформативним або іншим ознакам. Прикладами простої функції є автоматичне регулювання або вимір окремого параметра; прикладами складної функції — автоматичне регулювання або контроль усіх параметрів технологічного об'єкта керування.

За тимчасовим режимом виконання *функції ділять на безупинно виконувані — безперервні, дискретно виконувані — дискретні й комбіновані.*

Для виконання безперервної функції при відсутності надмірності необхідна безперервна робота всіх елементів системи, що брав участь у реалізації даної функції, протягом усього періоду її виконання. Прикладами такої функції є автоматичне регулювання або безперервна реєстрація параметрів безперервного технологічного процесу.

Дискретні функції виконують по періодичних або випадковим запитам деякі заздалегідь задані процедури, що полягають у реалізації певних операцій у заданій послідовності. Для виконання процедури потрібна безвідмовна робота окремих елементів системи у відповідні, відносно короткі інтервали часу. Прикладами такої функції є дискретне керування виконавчим механізмом або захист технологічного агрегату від аварій.

Комбіновані функції характеризуються сукупністю ознак, властивих безперервним і дискретним функціям. Прикладом комбінованої функції є автоматичне регулювання в безперервно-дискретному технологічному процесі.

Критерії відмов функцій АСУ ТП. Для вибору показників надійності, установлення вимог до них, оцінки надійності АСУ ТП на різних стадіях розробки й експлуатації систем необхідно однозначно визначити, що вважається відмовою АСУ ТП у виконанні кожної окремої функції (далі скорочено — відмовою функції).

У загальному випадку відмовою функції є подія, що полягає в порушенні хоча б одного з основних установлених вимог до якості її виконання, що виникає при заданих умовах експлуатації АСУ ТП і технологічному об'єкті керування, функціонуючому в заданих режимах.

Подія, що полягає в порушенні вимог до якості виконання функції, що відбулася внаслідок порушення заданих умов експлуатації (наприклад, підвищення температури в приміщенні або зниження напруги живлення понад припустимі межі), як відмова функції не розглядається.

Установлення критеріїв відмов функцій проводиться з обліком наведеної вище класифікації функцій залежно від вимог до якості їх виконання.

Розглянемо спочатку прості функції:

1. *Вимога відсутності змушених перерв у виконанні функції* може бути задане для функцій усіх класифікаційних різновидів. Критеріями відмов при

порушенні цієї вимоги можуть бути, наприклад, для безперервної функції безпосереднього цифрового керування, реалізованої за допомогою нерезервованих датчика, магнітного підсилювача, виконавчого механізму й резервованого обчислювального комплексу (ВК), одночасне перебування в непрацездатному стані обох ВК або відмов одного з нерезервованих технічних засобів.

2. *Вимога підтримки значень показників якості виконання функції в заданих межах* задається для функцій, у яких установлені вимоги до точності й (або) до швидкодії або до інших показників якості. Відповідним до критеріїв відмови може бути, наприклад, для функції виміру технологічного параметра вихід погрішності за припустимі межі.

3. *Вимога відсутності змушених перерв (або затримок) у виконанні функції, тривалість яких перевищує задане значення*, задається для безперервних або комбінованих функцій, у припиненні дії яких допускається деяка перерва, тобто є тимчасова надмірність. Для таких функцій, щоб установити відмова, потрібно не тільки проаналізувати стан системи в цей момент часу, але й урахувати її стани на деякому інтервалі часу, що передує справжньому моменту. Критерієм відмови при порушенні цієї вимоги може бути, наприклад, для функції оптимального керування затримка в проведенні корекції уставок локальних регуляторів на час, що перевищує припустимий.

4. *Вимога до своєчасного виконання функції* задається для дискретних і комбінованих функцій, тривалість виконання яких обмежена. Відповідним критерієм відмови може бути, наприклад, для функції пуску технологічного агрегату затримка у виконанні операцій пуску на час, що перевищує задане значення.

5. *Вимога до безпомилкового виконання функції* полягає в необхідності виконання всіх операцій у певному порядку й задається для дискретних і комбінованих функцій, при виконанні яких можуть мати місце відмови технічних засобів, помилки програмного забезпечення, неправильні дії оперативного персоналу. Критеріями відмов при порушенні цієї вимоги можуть бути, наприклад, для функції розрахунків техніко-економічних показників неправильний результат розрахунків, для функції дистанційного керування — неправильне виконання оперативним персоналом операцій по керуванню виконавчим механізмом.

Критерії відмов складеної функції формулюються як порушення вимог до виконання деякої комбінації простих функцій, що входять у розглянуту складову. Комбінація визначається на підставі переліку простих функцій, їх важливості й критеріїв відмов цих функцій.

В окремому випадку, якщо наслідку відмов кожної із простих функцій однакові, може бути задана вимога по обмеженню тільки загального числа одночасно не виконуваних простих функцій.

Класифікація відмов функцій. Відмови функцій можна класифікувати по наступних ознаках:

- за впливом на роботу об'єкта керування (такі, що викликали аварію з ушкодженням устаткування, зупинку технологічного процесу, погіршення якості протікання технологічного процесу, що не вплинули на роботу об'єкта і т.д.);
- із причин виникнення (через відмови технічних засобів, помилок програмного забезпечення, неправильних дій персоналу);

- за ступенем порушення працездатності (повні й часткові);
- за наявності зовнішніх проявів (явні й неявні);
- за видом порушення для дискретних функцій (*неспрацьовування*, що полягає у відсутності сигналів або команд на керування виконавчими механізмами при наявності умов, що вимагають їхні функціонування, і *неправильне спрацьовування*, що полягає у виробітку сигналів або команд при відсутності умов, що вимагають їхні функціонування).

Контрольні запитання (Лекція 8)

1. Наведіть класифікацію відмов функцій.
2. Наведіть критерії відмов складеної функції.
3. Чим відрізняються між собою прості та складені функції АСУ ТП?
4. Наведіть показники надійності людини-оператора.
5. Що таке надійність програмного забезпечення?
6. Наведіть приклади структури часу відновлення.
7. Розповісте про критерії відмов технічних засобів.

ЛЕКЦІЯ 9

Методика дослідження надійності технічних систем. Системний підхід до аналізу можливих відмов: поняття, призначення, цілі і етапи, порядок, межі дослідження. Виявлення основних небезпек на ранніх стадіях проектування . Розрахунки надійності локальних систем без врахування відновлення. Основні етапи розрахунків надійності

Завданням розрахунків надійності локальних систем регулювання, контролю, захисту й дистанційного керування є визначення показників, що характеризують їхню безвідмовність і ремонтпридатність. Розрахунки складаються з наступних етапів:

- а) визначення критеріїв і видів відмови системи й состава, що розраховуються показників надійності;
- б) складання структурної (логічної) схеми, заснованої на аналізі функціонування системи, врахуванні резервування, відновлення, контролю справності елементів і ін.;
- в) вибір методу розрахунків надійності з урахуванням прийнятих моделей опису процесів функціонування й відновлення;
- г) одержання в загальному виді математичної моделі, що зв'язує обумовлені показники надійності з характеристиками елементів;
- д) добір даних по показниках надійності елементів;
- е) виконання розрахунків і аналіз отриманих результатів.

Вміст перерахованих етапів значною мірою залежить від обраних критеріїв відмови, й показників надійності, що розраховуються, розглянутих вище.

До найбільш характерних показників надійності локальних систем відносяться середній наробіток до відмови системи, імовірність її безвідмовної роботи за заданий час, коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, параметр потоку відмов.

Близькі по характеру показники поширюються й на елементи системи — технічні засоби, за допомогою яких реалізуються локальні системи. Кількість розглянутих показників розширюється, якщо аналізується ймовірність роботи систем

з погіршеними показниками якості функціонування, тобто при обліку поступових (метрологічних) відмов елементів.

Розглянуті показники застосовуються як при створенні систем, так і при їхній експлуатації.

Складання структурної схеми, що є логічною схемою, для розрахунків надійності як системи, так і окремого технічного засобу, включає деякі моменти, на яких необхідно зупинитися більш докладно. Структурна схема для розрахунків надійності в загальному випадку суттєво відрізняється від функціональної схеми. Структурною схемою для розрахунків надійності називається графічне відображення елементів системи, що дозволяє однозначно визначити стан системи (працездатний або непрацездатний) за станом її елементів (також може бути класифікований як працездатний або непрацездатний).

Для багатофункціональних систем, наприклад АСУ ТП, такі структурні схеми становлять по кожній функції; їх звичайно називають надійністними схемами функції або надійнісно-функціональними схемами.

При складанні схеми елементи системи можуть з'єднуватися послідовно (рис. 9.1,а) або паралельно (рис. 9.1,б) залежно від їхнього впливу на працездатний стан системи. Якщо відмова елемента незалежно від його призначення викликає відмову системи, то елементи з'єднують послідовно. Якщо відмова системи виникає при відмові всіх або частини однотипних елементів, то такі елементи з'єднують паралельно. Послідовне з'єднання елементів називають також основним, а паралельне — резервним. Для ілюстрації принципів складання структурної схеми на рис. 1.2 представлені спрощена функціональна й структурні схеми трьохімпульсного регулятора рівня в барабані котла. Витратоміри живильної води F_B , пари F_n , рівнемір рівня в барабані котла L і задатчик рівня $Зд$ на структурній схемі включені послідовно, оскільки відмова кожного із пристроїв, як і відмова регулюючого приладу P , приводить до відмови регулятора рівня. Регулювальні органи РО з виконавчими механізмами ИМ можуть перебувати в основному (рис. 9.2,б) або резервному (рис. 9.2,в) з'єднанні залежно від того, чи здатна функціонувати система з одним регулювальним органом чи ні. Якщо для підтримки сталості рівня в барабані котла досить регулювання подачі живильної води тільки по одній нитці, що звичайно має місце, те виконавчі механізми з регулювальними органами з'єднуються на структурній схемі паралельно, як показано на рис. 9.2,в, а якщо ні, то їх включають послідовно (рис. 9.2,б).

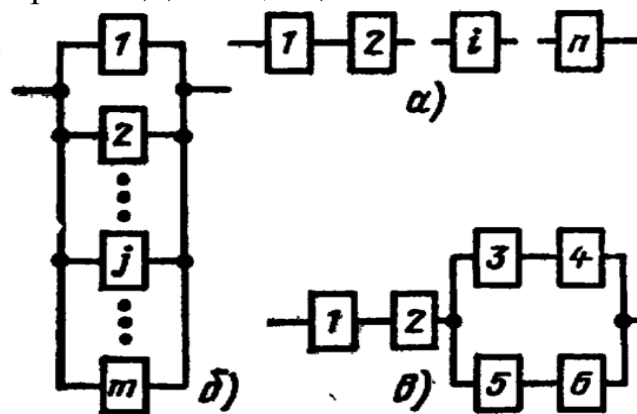


Рис. 9.1 – З'єднання елементів системи:

а — послідовне (основне); б — паралельне (резервне); в — змішане

Для тих самих локальних систем можуть бути складені різні структурні схеми залежно:

- від аналізованої функції системи, якщо вона є багатofункціональною,
- від виду відмови.

Так, для поліпшення якості регулювання в багатьох локальних системах вводяться сигнали по похідній від регульованої величини або динамічні зв'язки між параметрами. Природно, що відмова елементів, які беруть участь у формуванні цих сигналів, приведе до погіршення якості регулювання, але, як правило, не викличе відключення системи регулювання. У зв'язку із цим структурні схеми систем, складені по раптових і параметричних відмовах, можуть суттєво відрізнятися. Аналогічні структурні схеми складають при розрахунках надійності технічних засобів, що входять до складу системи. У якості їх елементів виступають блоки: вимірювальні, посилення, живлення, реєстрації, індикації й ін. із вхідними до їхнього складу механічними (редуктори, важільні передачі), електромеханічними (реле, двигуни, трансформатори), радіoeлектронними (резистори, інтегральні схеми, конденсатори) і іншими елементами, що мають індивідуальні показники надійності. На рис. 2.3, а й б представлені функціональна й структурна схеми перетворювача температури, що включає блоки: вимірювальний ІБ, підсилювальний УБ, зворотного зв'язку БОС і живлення БП.

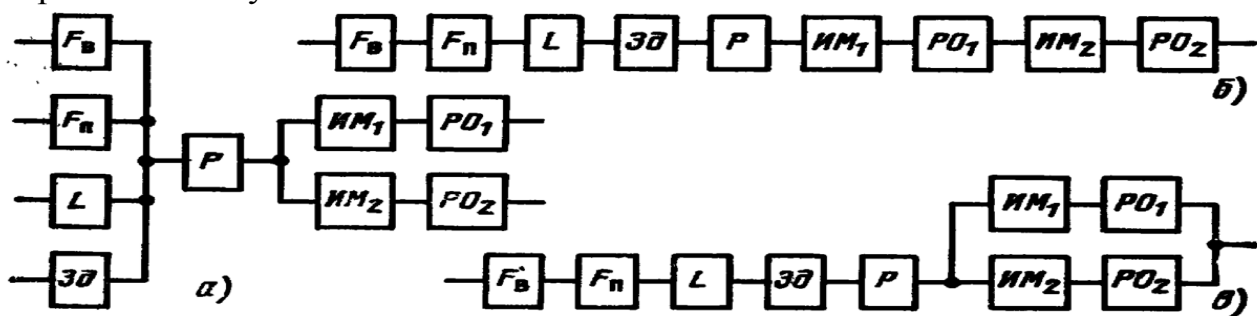


Рис. 9.2 – Функціональна (а) і структурні схеми (б, в) трьохімпульсного регулятора рівня в барабані котла

У цей час існує ряд керівних технічних матеріалів, що регламентують аналітичні методи розрахунків надійності комплексу технічних засобів АСУ ТП на етапі проектування. Але при всьому різноманітті існуючих методів розрахунків надійності систем останні можна розбити на три групи, що відносяться до систем:

- із простою структурою, що зводиться до послідовно-паралельного з'єднання елементів без врахування їх відновлення (оцінка показників безвідмовності);
- зі складною структурою, що не зводиться до послідовно-паралельного з'єднання елементів, елементи системи не відновлюються (оцінка показників безвідмовності);
- з відновлюваними елементами як при нульовому, так і при кінцевому часі заміни (відновлення) елемента, що відмовив, справним (оцінка показників безвідмовності, ремонтпридатності й комплексних показників).

Різновиди методів перших двох груп оперують із кількісними показниками безвідмовності при будь-яких законах розподілу наробітку до відмови елементів. До цих методів належать класичний метод, що базується на основних поняттях і теоремах теорії імовірності, і логіко-імовірнісний. Різновиди методів третьої групи

визначаються видом законів розподілу наробітку до відмови й відновлення, складністю системи.

За допомогою обраного методу, виходячи зі структурної схеми системи, визначають аналітичні моделі, що зв'язують її показники надійності з характеристиками елементів

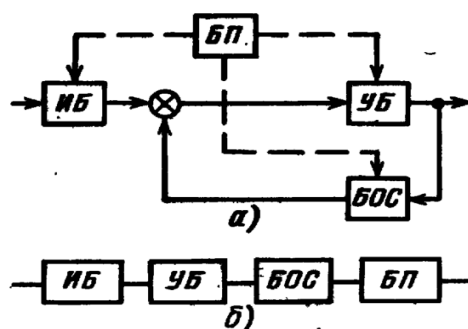


Рис. 9.3 - Функціональна (а) і структурна (б) схеми перетворювача, що нормує, і процесів їх обслуговування

Аналітичні моделі у вигляді формульних залежностей, що зв'язують перераховані величини, що є зручними для виконання аналізу надійності, вдається одержати для порівняно простих систем при введенні цілого ряду допущень, що спрощують, у математичному описі характеристик систем і процесів. Для складних відновлюваних систем, до яких належать підсистеми АСУ ТП, показники надійності часто визначаються з використанням статистичного (імітаційного) моделювання.

Добір характеристик надійності елементів структурної схеми систем сполучений із труднощами, обумовленими поруч факторів. До них належить залежність показників надійності від умов експлуатації, які можуть суттєво різнитися на різномірних видах виробництва, тому паспортні дані по надійності можуть не відповідати їхнім фактичним значенням. По деяких елементах, що входять до складу системи, ці показники можуть бути відсутніми, наприклад по запірній арматурі, провідним і трубним лініям зв'язку й ін. По показниках ремонтпридатності пристроїв дані найчастіше відсутні. У зв'язку із цим при добір показників надійності елементів систем доводиться користуватися даними по надійності інших пристроїв, близьких до них по конструкції.

Використовуючи показники надійності елементів, по отриманих математичних моделях здійснюють розрахунок показників надійності систем, який може бути виконаний вручну або на ЕОМ з використанням відповідних пакетів прикладних програм.

Методи розрахунків надійності невідновлюваних систем

При розрахунках імовірності безвідмовної роботи, середнього наробітку до виникнення першої відмови елементи системи розглядаються як невідновлювані. У цьому випадку, якщо структура системи зводиться до основного або резервного з'єднання елементів, за умови, що робота одного з паралельно з'єднаних елементів забезпечує працездатний стан системи, показники безвідмовності останньої визначаються по показниках безвідмовності елементів з використанням класичного методу розрахунків надійності.

Оскільки при основному з'єднанні елементів (див. рис. 9.1,а) працездатний

стан системи має місце при збігу працездатних станів усіх елементів, то ймовірність цього стану системи визначається добутком ймовірностей працездатних станів усіх елементів. Якщо система складається з n послідовно включених елементів, то при ймовірності безвідмовної роботи кожного з елементів $p_i(t)$ ймовірність безвідмовної роботи системи

$$P_c(t) = p_1(t) p_2(t) \dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (9.1)$$

При паралельному з'єднанні елементів і за умови, що для роботи системи досить роботи одного із включених паралельно елементів, відмова системи є спільною подією, що мають місце при відмові всіх паралельно включених елементів. Якщо паралельно включені m елементів (див. рис. 3.1,б) і ймовірність відмови кожного $q_j(t) = 1 - p_j(t)$ то ймовірність відмови цієї системи

$$Q_p(t) = q_1(t) q_2(t) \dots q_m(t) = \prod_{j=1}^m q_j(t). \quad (9.2)$$

Якщо структурна схема надійності системи складається з послідовно й паралельно з'єднаних елементів, то розрахунки її надійності може бути зроблені з використанням (9.1), (9.2). Так, для системи, структурна схема надійності якої представлена на рис. 9.1,б, ймовірність безвідмовної роботи

$$P_c(t) = p_1(t) p_2(t) p_{3456}(t) = p_1(t) p_2(t) \{1 - [1 - p_3(t) p_4(t)] [1 - p_5(t) p_6(t)]\}.$$

Приклад 4.1. Розрахувати за допомогою (9.1) і (9.2) ймовірності безвідмовної роботи за 2000 год $P(2000)$ систем регулювання рівня, структурні схеми яких представлені на рис. 9.2,б і в, при наступних ймовірностях безвідмовної роботи елементів:

$$p_{F_{\Pi}} = p_{F_B} = p_t = 0,94; \quad P_{3\lambda} = 0,99; \quad p_p = 0,93; \quad p_{IM} = 0,92; \\ p_{PO} = 0,74.$$

Рішення. Ймовірність безвідмовної роботи системи у випадку обов'язкової роботи двох регулювальних органів (див. рис. 9.2,б) складе

$$P_c(2000) = 0,94^3 \cdot 0,99 \cdot 0,93 \cdot 0,92^2 \cdot 0,74^2 = 0,35.$$

Якщо для роботи системи досить роботи одного регулювального органу (див. рис. 9.2,в), то ймовірність безвідмовної роботи системи регулювання рівня

$$P_c(2000) = 0,94^3 \cdot 0,99 \cdot 0,93 [1 - (1 - 0,92 \cdot 0,74)^2] = 0,69.$$

Таким чином, використання резерву по регулювальному органу з виконавчим механізмом, що є найменш надійними елементами системи, забезпечує підвищення ймовірності її безвідмовної роботи за 2000 годин з 0,35 до 0,69.

Щоб визначити значення середнього наробітку системи до відмови й інші показники надійності, потрібно знати закони розподілу часу безвідмовної роботи елементів (наробітку до відмови) системи. Оскільки на ділянці нормальної експлуатації із задовільною точністю в якості закону розподілу часу безвідмовної роботи елементів може бути прийнятий експонентний, то при основному з'єднанні елементів, якщо $p_i(t) = e^{-\lambda_i t}$, вираження (9.1) прийме наступний вид:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = e^{-\lambda_c t}, \quad (9.3)$$

$$\lambda_c = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

де

Таким чином, при основному з'єднанні елементів, що мають експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи, закон розподілу часу безвідмовної роботи системи також буде експонентним, відповідно до цього, маємо

$$F_c(t) = 1 - e^{-\lambda_c t}; \quad f_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t}; \quad \tau_c = 1/\lambda_c; \quad \sigma_c = 1/\lambda_c. \quad (9.4)$$

При резервному з'єднанні m елементів, що мають експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи, імовірність відмови групи паралельно включених елементів

$$Q_p(t) = (1 - e^{-\lambda_1 t}) (1 - e^{-\lambda_2 t}) \dots (1 - e^{-\lambda_m t}) = \prod_{j=1}^m (1 - e^{-\lambda_j t}). \quad (9.5)$$

Якщо всі елементи рівнонадійні й $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_m = \lambda_j = \lambda$, то

$$Q_p(t) = (1 - e^{-\lambda t})^m; \quad P_p(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^m.$$

Таким чином, при резервному з'єднанні елементів експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи не зберігається.

Розглянутий метод розрахунків широко застосовують для оцінки надійності локальних систем і елементів, що входять до їхнього складу. На стадії проектування при відомих інтенсивностях відмов елементів оцінюють імовірність безвідмовної роботи системи й передбачають заходи, спрямовані на її підвищення, що й полягають у резервуванні найменш надійних і найбільш відповідальних елементів, в полегшенні умов експлуатації, в зниженні рівня навантаження й ін.

Аналізують надійність на стадії проектування звичайно в кілька етапів. На першому етапі, проведеному на стадії складання технічного завдання на локальну систему або окремий технічний засіб, коли їх структури ще не визначені, проводиться приблизна оцінка надійності. Вона виходить із апріорної інформації про надійність близьких по характеру систем і елементів, за допомогою яких вони можуть бути реалізовані. На другому етапі проводиться орієнтовна оцінка надійності. При цьому відомі структура системи й вхідні до її складу елементи, їх показники надійності, задані при нормальних (номінальних) умовах експлуатації.

Остаточний розрахунок надійності технічних засобів, іноді називаний коефіцієнтним, проводиться на стадії завершення технічного проекту, коли проведена експлуатація дослідних зразків пристроїв й відомі умови експлуатації всіх елементів. Останні визначаються рівнем навантажень, характером зміни таких величин, що впливають, як температура навколишнього й регульованого середовища, рівень вібрації, коливання напруги живлення й частоти, коливання вологості й ін. Врахування цих величин дозволяє зробити корекцію значень інтенсивностей відмов елементів. Так, їхня робота при знижених навантаженнях приводить до зниження інтенсивностей відмов.

Контрольні запитання (Лекція 9)

1. Як аналізують надійність на стадії проектування?
2. Які методи розрахунків надійності невідновлюваних систем ви знаєте?
3. Що таке надійнісні схеми функцій?
4. Що є завданням розрахунків надійності локальних систем регулювання, контролю, захисту й дистанційного керування?
5. З яких етапів складаються розрахунки надійності локальних систем регулювання, контролю, захисту й дистанційного керування?

ЛЕКЦІЯ 10

Інженерні методи дослідження безпеки технічних систем. Порядок визначення причин відмов і знаходження аварійної події при аналізі стану системи. Дерево відмов - ДВ (fault tree analysis - FTA). Дерево подій - ДП (event tree analysis - ETA). Дерево рішень. Логічний аналіз

Моделювання і прогнозування небезпечних ситуацій.

Будь-яка потенційна небезпека має свій логічний процес розвитку і реалізується за певних умов. Сукупність умов, за яких виникає можливість впливу на людину й довкілля шкідливих та небезпечних чинників, зумовлюють небезпечну подію. Ці умови часто називають причинами небезпечних ситуацій. Небезпечна подія може мати як сприятливі, так і несприятливі (небажані) наслідки.

Небезпечні події з несприятливими наслідками мають свої історичні назви, а саме: аварія, стихійне лихо, катастрофа. *Аварія* - це небезпечна подія техногенного характеру, що створює загрозу життю і здоров'ю людини, призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого чи транспортного процесу, або завдає шкоди довкіллю. *Стихійне лихо* - це небезпечна подія природного походження, яка за своєю інтенсивністю, масштабом поширення і тривалістю вражає людей, об'єкти економіки та довкілля. *Катастрофа* - це великомасштабна аварія, стихійне лихо чи інша подія, що призводить до тяжких, трагічних наслідків. Стан, який виникає після аварії, стихійного лиха чи катастрофи, називають надзвичайною ситуацією. Надзвичайна ситуація характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності людей, що спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, яка призвела чи може призвести до загибелі людей та/або значних матеріальних втрат.

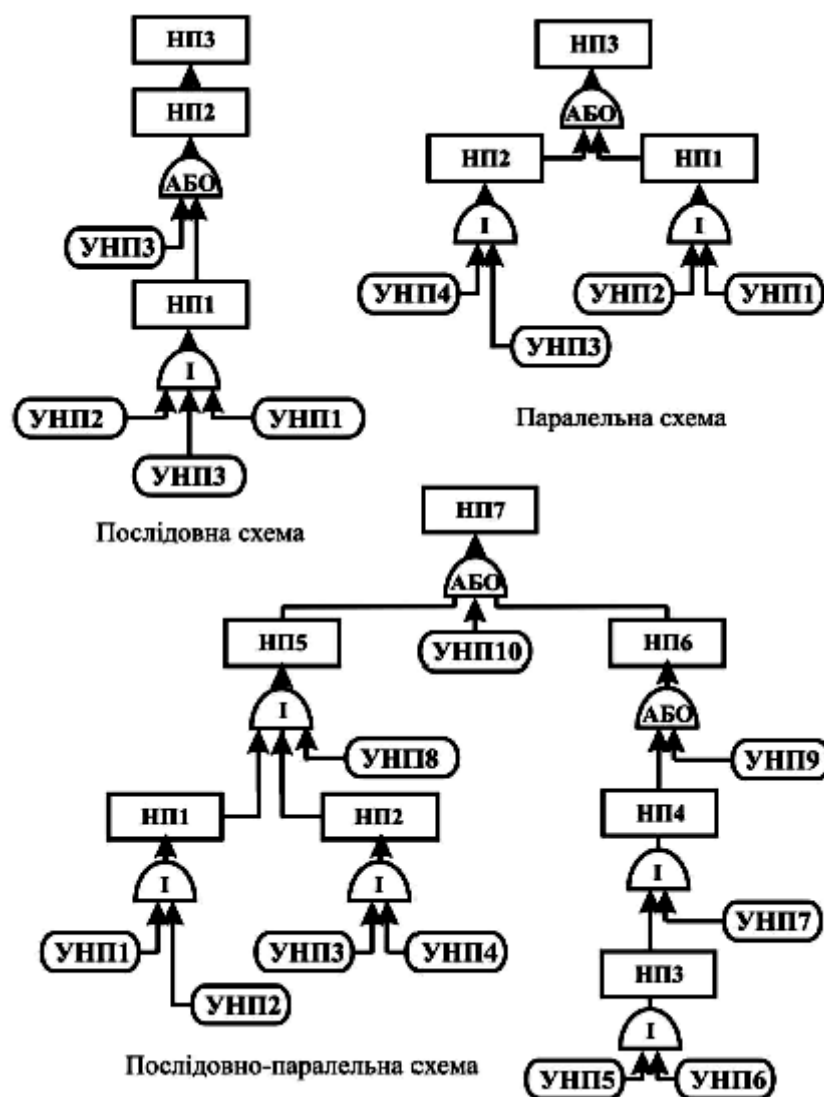
Імовірність несприятливих наслідків різко зростає, якщо кількість небезпечних подій збільшується. Небезпечні події, як і причини їх виникнення, мають випадковий характер, і для визначення ймовірного настання небажаних наслідків використовують теорію ймовірності.

Моделювання і прогнозування небезпек на практиці проходить три стадії. На першій стадії визначають матеріальні носії небезпек, тобто небезпечні та шкідливі чинники і умови, за яких вони можуть призвести до небажаних наслідків. На другій стадії визначається головна небезпечна подія і послідовність інших небезпечних подій та умов, які їй передують. На цій стадії будується логічна схема розвитку небезпеки у вигляді дерева небезпечних подій та причин. Для побудови таких схем використовують певні позначення, показані на рис. 10.1.

Небезпечні події можуть відбуватися послідовно одна за одною, паралельно (одночасно) одна одній, а найчастіше - за змішаною послідовно-паралельною схемою. Для відображення схем реалізації небезпечних подій використовують логічні оператори «І» та «АБО». Логічний оператор «І» показує, що подія *A* відбудеться, якщо одночасно відбудуться всі події, які їй передують, тобто і *B* і *V*. Імовірність настання такої події встановлюють згідно з теорією ймовірності за формулою:

$$P_A = P_B P_V. \quad (10.1)$$


де P_A , P_B і P_V - імовірності настання подій *A*, *B* і *V*, відповідно.



Умовні позначення:

НП1 - небезпечна подія

УНП5 - умова небезпечної події

 - логічний оператор "І"


 - логічний оператор "АБО"

Рис. 10.1 – Типові схеми розвитку небезпечних подій та умовні позначення, які використовують під час їхньої побудови

Логічний оператор "АБО" показує, що подія A відбудеться, якщо відбудеться одна із подій, яка їй передую, тобто або B , або V . Імовірність настання цієї події встановлюють згідно з теорією ймовірності за формулою:

$$P_A = P_B + P_V - P_B P_V. \quad (10.2)$$

Шляхом послідовного визначення ймовірностей небезпечних подій за логічною схемою визначають імовірність виникнення головної небезпечної події.

Як приклад моделювання і прогнозування небезпечних ситуацій наводимо побудову моделі дорожньо-транспортної пригоди під час руху пішохода за заданим маршрутом, який подано на рис. 10.2. Подібним маршрутом, яким треба пройти два перехрестя (нерегульоване НП і регульоване РП), більшість з нас проходить щодня. Модель побудована для випадку, коли простежується неперервний потік автомобілів

чи пішоходів, і відповідає умовам години пік у великих містах, тобто проектує найнебезпечнішу ситуацію.

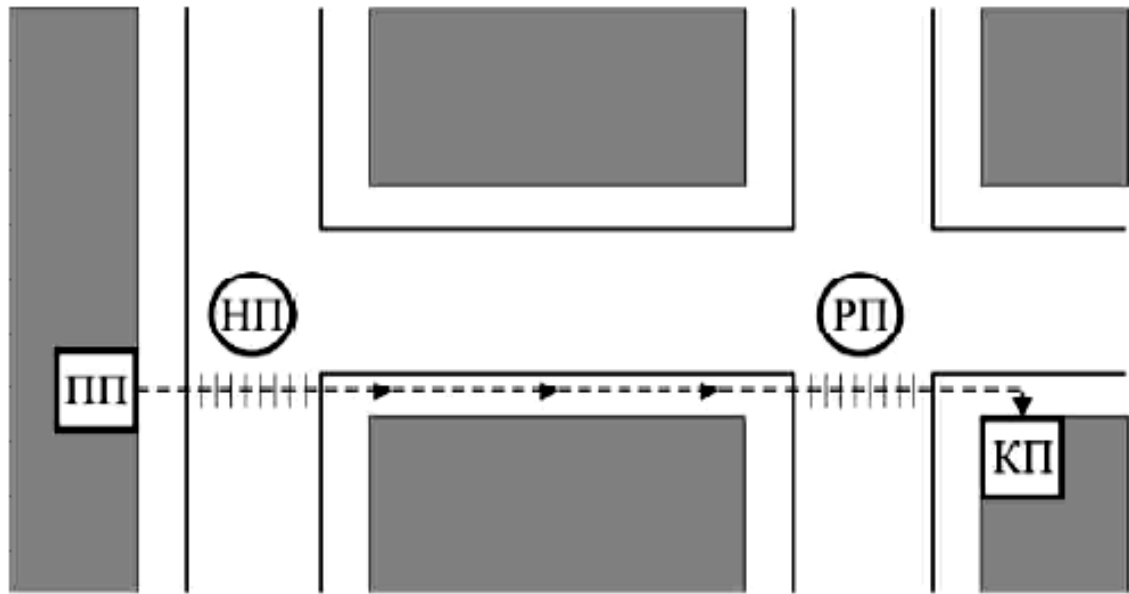


Рис. 10.2 – Схема маршруту переміщення пішохода

Побудова моделі починається із визначення головної події - дорожньо-транспортної пригоди (зіткнення пішохода з транспортним засобом) і продовжується пошуком всіх комбінацій подій, які можуть призвести до настання головної події. Можлива схема моделі дорожньо-транспортної пригоди на заданому маршруті показана на рис. 10.3.

Виникнення небезпечних подій у цій моделі визначають вісім умов (їх пронумеровано згідно з позначеннями на рис. 10.3), а саме:

- 1 рівень знань пішохода (РЗП);
- 2 психофізіологічний стан пішохода (ПФСП);
- 3 професійний рівень водія (ПРВ);
- 4 психофізіологічний стан водія (ПФСВ);
- 5 рівень контролю за технічним станом автомобіля (РКТСА);
- 6 рівень контролю за технічним станом світлофора (РКТСС);
- 7 рівень стану тротуару (РСТ);
- 8 рівень стану проїзної частини (РСПЧ).

Настання наведених умов може спричинити виникнення однієї із десяти небезпечних подій (їх пронумеровано згідно з позначеннями на рис. 10.3):

- 9 вихід пішохода на нерегульоване перехрестя без впевненості у відсутності небезпеки для себе та інших учасників руху (ВПНП);
- 10 виїзд автомобіля на нерегульоване перехрестя без зменшення швидкості (ВАНП);
- 11 вихід пішохода на проїзну частину вулиці між перехрестями (ВППЧ);
- 12 виїзд автомобіля на тротуар між перехрестями (ВАТ);
- 13 вихід пішохода на регульоване перехрестя (ВППП);
- 14 виїзд автомобіля на регульоване перехрестя (ВАРП);
- 15 дорожньо-транспортна пригода на нерегульованому перехресті (ДТП на НП);

- 16 дорожньо-транспортна пригода між перехрестями (ДТП між перехрестями);
 17 дорожньо-транспортна пригода на регульованому перехресті (ДТП на РП);
 18 дорожньо-транспортна пригода (ДТП) - головна небезпечна подія.

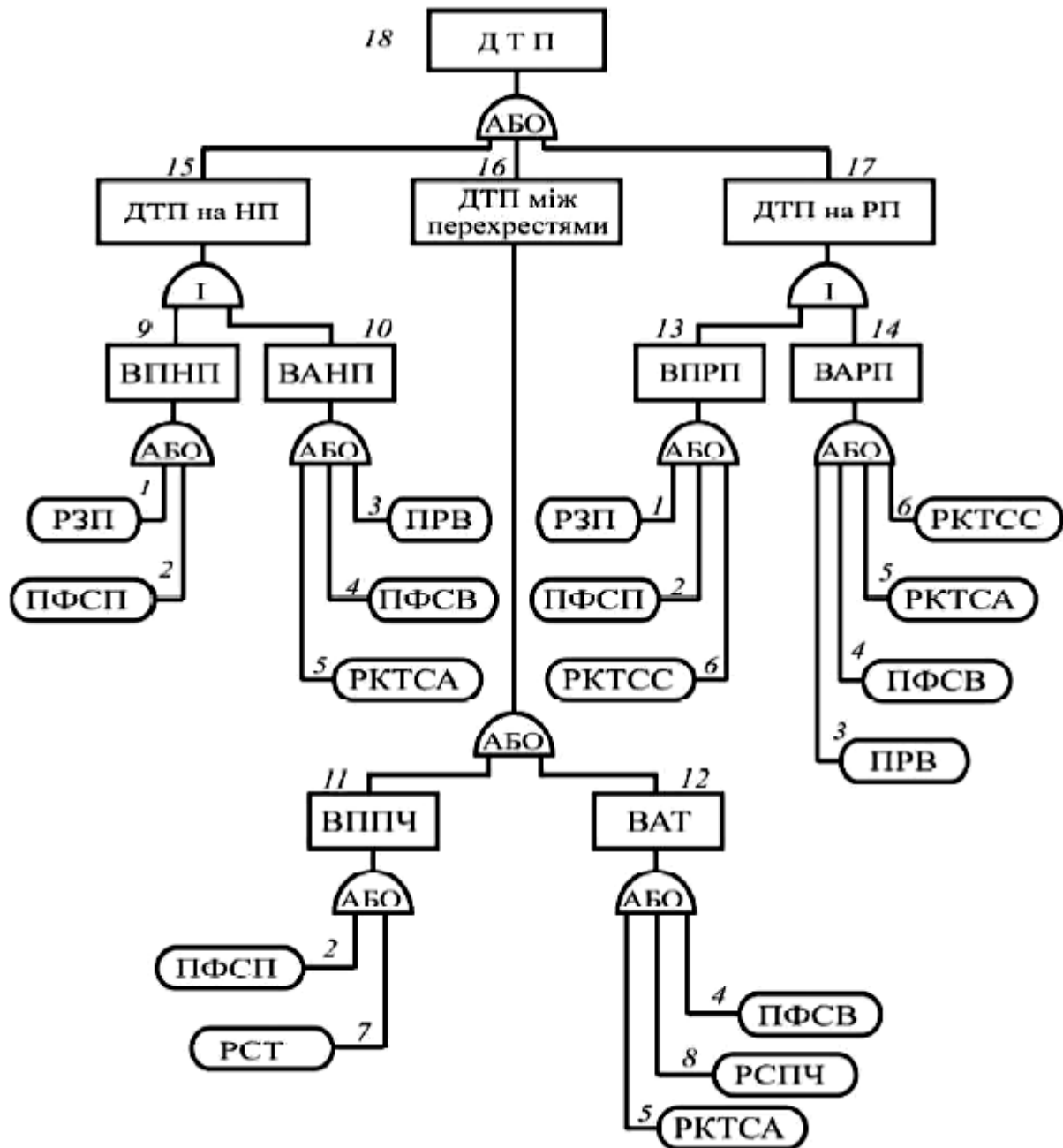


Рис. 10.3 – Логіко-імітаційна модель дорожньо-транспортної пригоди (дерево подій і причин)

Оскільки всі події та умови їх виникнення є випадковими, то для розрахунку ймовірності реалізації дорожньо-транспортної пригоди використовують знання з теорії ймовірності та булевої алгебри. Імовірності настання умов 1-8, за яких виникають небезпечні події, визначають емпірично або оцінюють статистичними методами. Імовірності небезпечних подій 9-18 розраховують за формулами (10.1) і (10.2) відповідно до схеми реалізації подій та настання умов, а саме:

$$P_9 = P_1 + P_2 - P_1 P_2;$$

$$P_{10} = P_3 + P_4 + P_5 - (P_3 P_4 + P_3 P_5 + P_4 P_5) + P_3 P_4 P_5;$$

$$P_{11} = P_2 + P_7 - P_2 P_7;$$

$$P_{12} = P_4 + P_8 + P_5 - (P_4 P_8 + P_5 P_4 + P_5 P_8) + P_4 P_5 P_8;$$

$$P_{13} = P_1 + P_2 + P_6 - (P_1 P_2 + P_1 P_6 + P_2 P_6) + P_1 P_2 P_6;$$

$$P_{14} = P_3 + P_4 + P_5 + P_6 - (P_3 P_4 + P_3 P_5 + P_3 P_6 + P_4 P_5 + P_4 P_6 + P_5 P_6) + P_3 P_4 P_5 + P_3 P_5 P_6 + P_4 P_5 P_6 + P_3 P_4 P_6 - P_3 P_4 P_5 P_6;$$

$$P_{15} = P_9 P_{10};$$

$$P_{16} = P_{11} + P_{12} - P_{11} P_{12};$$

$$P_{17} = P_{13} P_{14};$$

$$P_{18} = P_{15} + P_{16} + P_{17} - (P_{15} P_{16} + P_{15} P_{17} + P_{16} P_{17}) + P_{15} P_{16} P_{17}.$$

На третій стадії аналізують можливі небажані наслідки і визначають можливі шляхи зменшення їхнього негативного впливу. В основу такого аналізу покладено методику порівняння затрат, спрямованих на відвернення небезпек (зменшення ризику), і вигод, здобутих від зниження рівня ризику.

Контрольні запитання (Лекція 10)

1. Які стадії моделювання і прогнозування небезпек ви знаєте?
2. На якій стадії моделювання і прогнозування небезпек аналізують можливі небажані наслідки?
3. На якій стадії моделювання і прогнозування небезпек визначають можливі шляхи зменшення негативного впливу небажаних наслідків.
4. Які логічні оператори використовують для відображення схем реалізації небезпечних подій?

ЛЕКЦІЯ 11

Кількісні характеристики надійності. Кількісні характеристики надійності. Випадкова подія. Основні закони розподілу, використовувані в теорії надійності. Про вибір закону розподілу відмов при розрахунку надійності.

Сучасні технологічні процеси відбуваються у великій кількості апаратів, робота яких контролюється і регулюється також значною кількістю різноманітних датчиків та регуляторів. Звичайно задають нижню і верхню межу технологічних параметрів, в яких технологічний процес відбувається стабільно. Вихід одного з параметрів за встановлені межі є першою ознакою розвитку небезпечної події. Якщо відповідні регулятори і датчики вчасно і правильно зреагували на цей вихід за встановлені межі, то небезпечна подія не розвиватиметься, в іншому випадку виникне аварія. Отже, ймовірність аварії визначається надійністю відповідної апаратури. Надійність - це ймовірність того, що апаратура в заданих умовах експлуатації безвідмовно функціонуватиме упродовж певного періоду.

Ймовірність безвідмовної роботи залежить від часу експлуатації апаратури t і її визначають за формулою:

$$P_2(t) = \exp(-t / \lambda_2) \quad (11.1)$$

де λ_1 - середній час роботи апаратури до першої відмови (неправильного реагування).

Цей час не є постійною величиною і також змінюється протягом експлуатації апаратури. Ця залежність є типовою для багатьох пристроїв і показана на рис. 11.1.

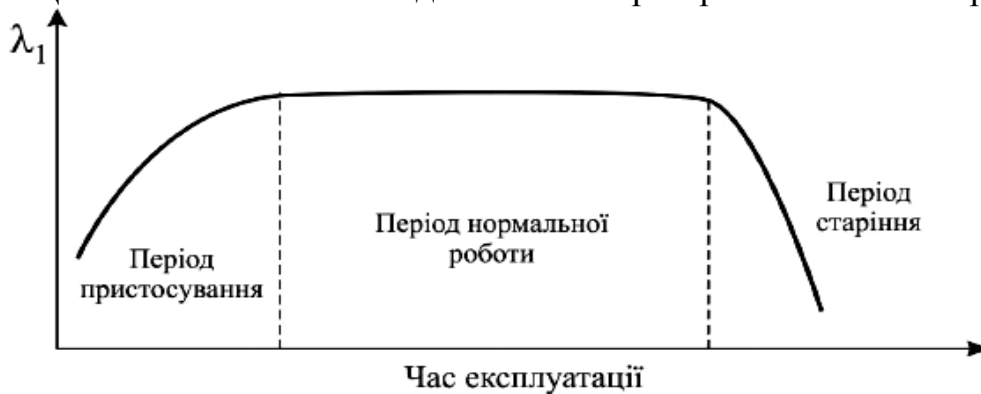


Рис. 11.1 – Часова залежність середнього часу безвідмовної роботи апаратури

Відмова будь-якого елемента апаратури в сучасних технологічних процесах звичайно не спричиняє аварії, а тільки призводить до його зупинки. Аварії здебільшого виникають у випадку нагромадження відмов, тобто збільшення кількості елементів апаратури, які неадекватно реагують на зміни параметрів технологічного процесу. Досвід свідчить, що у 99 % випадків відмов їхнє нагромадження не допускають, їх виявляють і апаратуру справляють. Щоб не допустити їхнього нагромадження, у 99,9 % випадків передбачено технічні можливості.

Імовірність безаварійної роботи також визначають за аналогічною формулою:

$$P_2(t) = \exp(-t / \lambda_2), \quad (11.2)$$

де λ_2 - середній час безаварійної роботи апаратури.

Між параметрами λ_1 і λ_2 існує залежність

$$\lambda_2 = \lambda_1 / (1 - \varepsilon),$$

Де ε_2 - частка відмов апаратури, які вдається блокувати, не допускаючи їх нагромадження.

Підставляючи (11.1) у (11.2), матимемо: $P_2(t) = \exp[-t(1 - \varepsilon) / \lambda_1] = P_1^{1 - \varepsilon}$.

Якщо прийняти, що сьогодні ймовірність безвідмовної роботи P_1 дорівнює 0,99, то ймовірність безаварійної роботи P_2 при $\varepsilon = 0,99$ дорівнює 0,999899. Звідси ймовірність аварії дорівнює $P_3 = 1 - P_2 \approx 10^{-4}$.

За ймовірності безвідмовної роботи 0,95 і $\varepsilon = 0,95$, ймовірність аварії дорівнює $2,6 \cdot 10^{-3}$.

В основу аналізу можливих небажаних наслідків і визначення можливих шляхів зменшення їхнього негативного впливу покладено методику порівняння затрат, спрямованих на відвернення небезпек (зменшення ризику), і вигод, здобутих від зниження рівня ризику. Суть цієї методики полягає в тому, що спочатку визначають затрати D_{T_i} , які скеровані на зниження рівня ризику від i -то чинника (групи чинників) до величини r_{T_i} , а потім оцінюють можливі витрати S_{T_i} , які виникають при здобутому рівні ризику. Якщо можна виразити величини D_{T_i} та S_{T_i} в однакових одиницях виміру, то їхня сума становить загальні витрати суспільства, пов'язані з наявністю цього чинника (групи чинників).

Якщо коефіцієнт ризику r_{Ti} є малим, то очевидно, що витрати S_{Ti} , які виникатимуть унаслідок реалізації небезпек, будуть також малими (мала кількість аварій), але, щоб досягнути цього коефіцієнта ризику, потрібні великі затрати D_{Ti} на відвернення небезпек. І навпаки в разі великого коефіцієнта ризику.

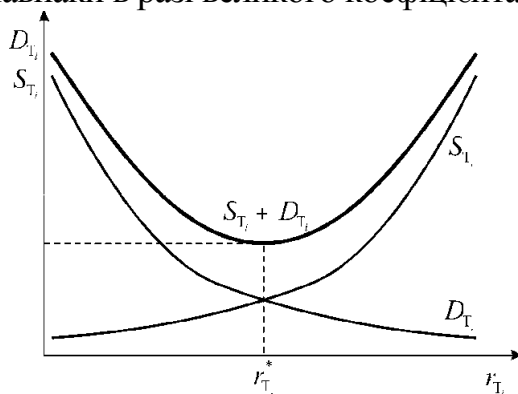


Рис. 11.2 – Залежність витрат на відвернення небезпек D_{Ti} і витрат на ліквідацію наслідків від реалізації небезпек S_{Ti} від коефіцієнта індивідуального ризику r_{Ti}

Аналіз залежності загальних витрат $D_{Ti} + S_{Ti}$ від рівня ризику показує, що при певному значенні коефіцієнта індивідуального ризику r_{Ti} досягають мінімуму загальних витрат суспільства (див. рис. 11.2).

Контрольні запитання (Лекція 11)

1. Від чого залежить імовірність безвідмовної роботи?
2. До чого приводить відмова будь-якого елемента апаратури в сучасних технологічних процесах?
3. Розрахуйте ймовірність аварії при ймовірності безвідмовної роботи 0,90 і $\varepsilon = 0,90$.

ЛЕКЦІЯ 12

Заходи, методи і засоби забезпечення надійності і безпеки технічних систем.

Технічні засоби забезпечення надійності і безпеки технічних систем.

Організаційно-управлінські заходи. Діагностика порушень і аварійних ситуацій в технічних системах. Алгоритм забезпечення експлуатаційної надійності технічних систем

Дослідження розвитку наукових засад формування системи промислової безпеки дозволило окреслити зміни у розумінні суті промислової безпеки та етапи еволюції концептуальних підходів до її визначення. На цей час поняття «промислова безпека» визначається як стан захищеності життєво важливих інтересів особи та суспільства від аварій на небезпечних виробничих об'єктах та їх наслідків. Сучасну схему системи промислової безпеки на виробництві представлено на рис. 12.1.

У наведеному варіанті цієї схеми «галузевий компонент» замінено на «технічний», оскільки це поняття більш загальне і включає особливості, властиві окремим видам промислових виробництв. Додатково виокремлено три компоненти системи: економічний, соціальний та освітній. Виділення економічних елементів в окремий компонент продиктовано збільшенням за останні роки їх значення у забезпеченні промислової безпеки внаслідок ліквідації існуючої раніше системи

адміністративного управління. Особлива роль цього компонента зумовлена не обхідністю управління безпекою передусім за допомогою економічних важелів.

Зазначена модель ілюструє промислову безпеку як складну систему, що складається з сукупності різнорівневих елементів з багатозначними і багаточинниковими зв'язками.

Всезростаюча важливість в ринкових умовах економічних важелів управління промисловою безпекою праці зумовлюється також тим, що аварії, ускладнення, нещасні випадки і захворювання на виробництві, погані умови праці вкрай негативно впливають і на економічну ефективність підприємства, його прибуток, рентабельність і, як наслідок, конкурентоспроможність.

Витрати підприємства на забезпечення промислової безпеки праці, як свідчить досвід розвинутих країн, окупаються багаторазово, тому формування ефективної системи промислової безпеки праці повинно стати найбільш пріоритетним напрямком.

Одне з головних завдань, що вимагають при цьому першочергового вирішення – це забезпечення дійсно дієвої системи управління промисловою безпекою, оскільки саме неефективність менеджменту промислової безпеки – основна причина аварійності і виробничого травматизму.

Зрозуміло, що всі спроби реорганізувати системи управління або впливати на них не можуть бути результативними за відсутності «еталонних» моделей системи управління. Ця обставина зумовила необхідність формулювання загальних організаційних характеристик систем управління промисловою безпекою незалежно від галузевої приналежності і організаційно-правових форм підприємств.

Поліпшення стану промислової безпеки праці на підприємстві може бути досягнуто шляхом переходу від окремих розрізнених заходів до системи планомірного цілеспрямованого управління виробничою діяльністю.

Поставлена проблема розв'язується через проектування системи з трьох самостійно проєктованих підсистем: захисту працюючих від небезпечних і шкідливих виробничих чинників; профілактичного обслуговування підсистеми захисту; підсистеми управління. Кожна з цих підсистем виконуватиме конкретну функцію по забезпеченню безпеки працівників.

Дослідження показують, що на сьогоднішній день системи промислової безпеки підприємств повинні проєктуватися як системи, здатні забезпечити захист працівників від небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що генеруються технологічними процесами виробництва, з необхідним рівнем надійності або з допустимим рівнем ризику.

Встановлено, що для побудови науково обґрунтованої системи управління безпекою праці доцільно прийняти таку структуру професійного ризику, в якій домінуючу роль відіграє прихована складова, що виявляється у загальному погіршенні здоров'я працюючих, зумовленому несприятливими чинниками виробничого середовища, і має обґрунтовану кількісну оцінку. Це дозволяє налагодити управління і контроль в галузі безпеки праці за статистично достовірними, об'єктивними і найбільш соціально значущими параметрами, а також істотно підвищити соціально-економічну ефективність роботи галузі за рахунок зміни пріоритетів, обґрунтованого перерозподілу коштів і вдосконалення діяльності відповідних управлінських структур.

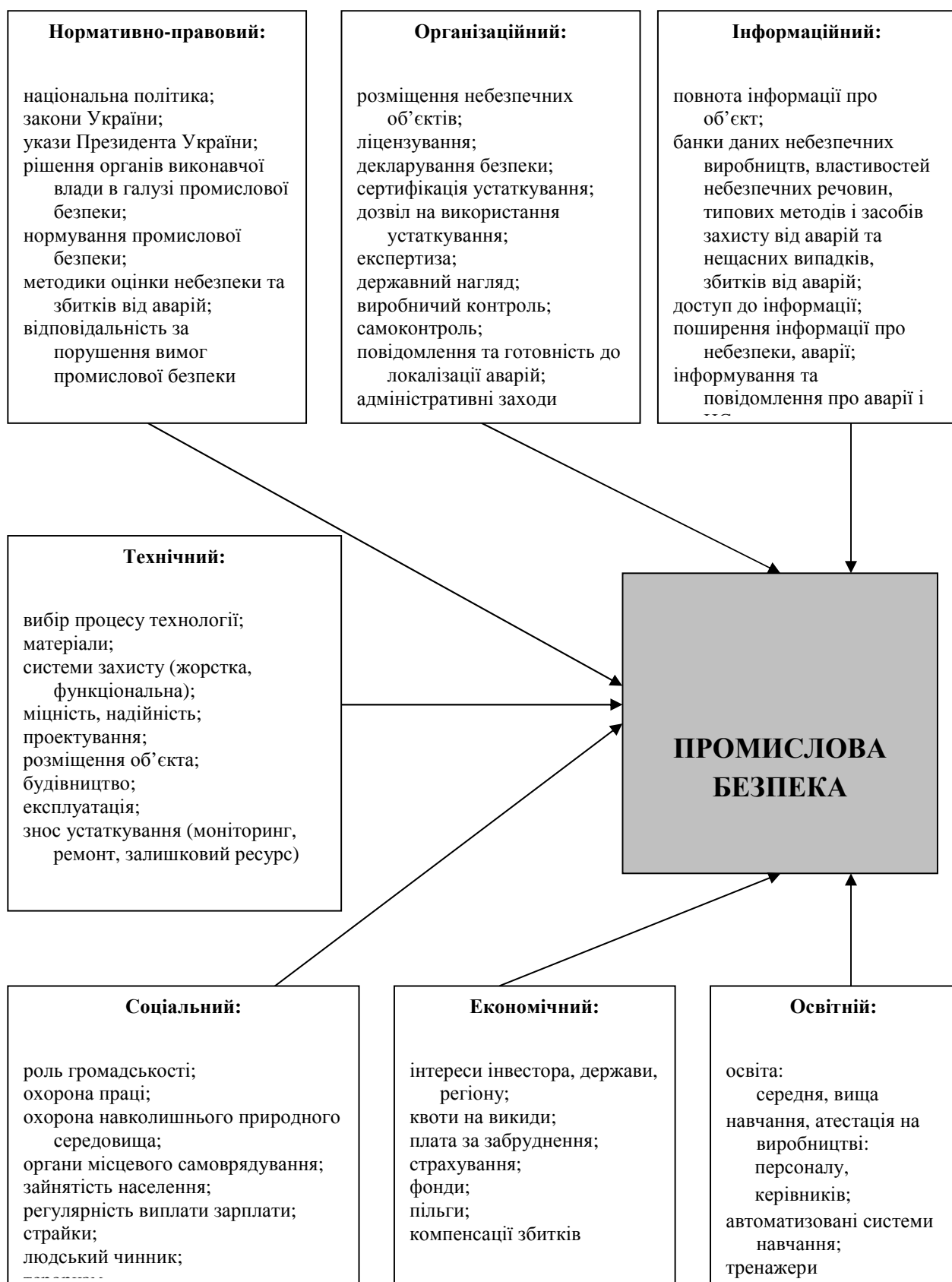


Рис. 12.1 – Складові компоненти промислової безпеки

Моделювання забезпечення управління промисловою безпекою праці ґрунтується на розгляді функціонування підприємства як системи «управлінський персонал – виробничий персонал – виробниче обладнання – сировина – проміжна продукція – кінцева продукція». Система розглядається як технічна, функціонування якої визначається ймовірністю відмови (збої, помилки) окремих елементів (обладнання, людина), та як інформаційна система, коли основну увагу надається управлінню в системі, котра розглядається як інформаційний процес, що включає отримання інформації про стан системи і навколишнього середовища, переробку інформації (формування рішення і планування) та передачу командної інформації виконавцям.

Розроблено імітаційні моделі (стану технологічного процесу на підприємстві, стану умов праці оператора, оцінки травмобезпеки робочого місця оператора з періодом лікування працівника, оцінки травмобезпеки робочого місця оператора) ймовірності забезпечення промислової безпеки праці на підприємствах і виведена формула визначення витрат, спричинених травматизмом на виробництві.

Система рівнянь, що описує стан технологічного процесу на підприємстві, має такий вигляд:

$$\frac{dP_1}{dt} = \mu_{21}P_2 + \mu_{31}P_3 - \mu_{12}P_1,$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \mu_{12}P_1 - \mu_{21}P_2 - \mu_{23}P_2,$$

$$\frac{dP_3}{dt} = \mu_{23}P_2 - \mu_{31}P_3,$$

де $P_1(t)$ – ймовірність нормального стану технологічного процесу на підприємстві у момент часу t ;

$P_2(t)$ – ймовірність передаварійного стану технологічного процесу на підприємстві у момент часу t ;

$P_3(t)$ – ймовірність аварійного стану технологічного процесу на підприємстві у момент часу t ;

μ_{12} – інтенсивність переходу із нормального стану технологічного процесу в передаварійний;

μ_{21} – інтенсивність переходу з передаварійного стану технологічного процесу в нормальний;

μ_{23} – інтенсивність переходу стану технологічного процесу з передаварійного в аварійний;

μ_{31} – інтенсивність ремонту після аварії та відновлення нормального технологічного процесу на підприємстві.

Рівняння, що описують травмобезпеку робочого місця, будуть такими:

$$\frac{dP_4}{dt} = \mu_{54}P_5 - \mu_{45}P_4, \quad \frac{dP_5}{dt} = \mu_{45}P_4 - \mu_{54}P_5,$$

де $P_4(t)$ – ймовірність того, що у момент часу t в діях робітника немає істотних порушень і робота відбувається без травм;

$P_5(t)$ – ймовірність того, що у момент часу t помилки в роботі робітника приведуть до нещасного випадку і він, одержавши травми, знаходиться на лікуванні;

μ_{45} – інтенсивність настання нещасного випадку в результаті низки помилок, що призвели до нього, з втратою працездатності, 1/год;

μ_{54} – інтенсивність одужання робітника, який одержав травму, 1/год.

Основні принципи забезпечення безпечної життєдіяльності.

Забезпечення безпечної життєдіяльності - це складний процес, що ґрунтується на багатьох принципах, які умовно об'єднують у три групи: основоположні, технічні та організаційні.

Основоположні принципи визначають ідеї, концепції, головні напрями пошуку шляхів безпечної життєдіяльності. До таких принципів відносять, зокрема: концепцію допустимого ризику, принцип мінімізації ризику, принцип системного аналізу.

Технічні принципи спрямовані на безпосереднє відвернення дії небезпечних та шкідливих чинників. Вони ґрунтуються на фізичних законах і серед них виділяють: принципи захисту відстанню, часом, екрануванням, недоступністю.

Організаційні принципи визначають порядок реалізації заходів щодо забезпечення безпечної життєдіяльності. До них належать принципи плановості, послідовності та комплексності заходів, аналізу та контролю за їхнім виконанням.

Розглянемо одну особливість, яка характерна для всіх проблем, пов'язаних з управлінням соціальними системами. Все вищевикладене будувалося на передбачуваному принципі, що будь-яка людина завжди прагне досягнути максимального рівня безпеки і критерієм безпеки була умова досягнення мінімального рівня ризику.

Однак соціологічні дослідження свідчать, що не завжди головна ціль у житті людини є досягнення максимального рівня безпеки, скоріше, - це забезпечення відповідного, належного рівня життя. Рівень життя, як соціально-економічну категорію, прийнято оцінювати рівнем задоволення фізичних, духовних та соціальних потреб індивіда. Рівень задоволення цих потреб визначає якість життя. Історія розвитку цивілізації свідчить, що між безпекою і якістю життя існує певний компроміс: завжди є можливість підвищити якість життя, однак при цьому знижується безпека, і навпаки.

Що обере людство? Очевидно, що стратегія розвитку цивілізації повинна визначатися деяким узагальненим критерієм, який поєднує як якість життя, так і рівень безпеки, і в цій проблемі важливу роль відіграє трансформація життєвих цінностей людини до усвідомлення того, що благополуччя окремої людини залежить від благополуччя оточуючого середовища та оточуючих її людей.

Контрольні запитання (Лекція 12)

1. Чим відрізняються між собою Основоположні Технічні та Організаційні принципи забезпечення безпечної життєдіяльності?
2. Назвіть складові промислової безпеки.
3. Чи застосовуються на практиці економічні важелі управління промисловою безпекою праці?

ЛЕКЦІЯ 13

Оцінка небезпеки промислового об'єкту. Економічні механізми регулювання промислової безпеки. Українське законодавство в сфері промислової безпеки

Оскільки довкілля умовно поділено на дві сфери та існують дві системи

безпеки, то коефіцієнт індивідуального ризику R визначають як суму коефіцієнтів індивідуального ризику, які пов'язані із функціонуванням соціально-економічної та технічної R_T систем безпеки, а саме:

$$R = R_c + R_T \quad (13.1)$$

Кількісно ефективність функціонування кожної із систем безпеки оцінюють за величиною відповідного коефіцієнта індивідуального ризику. Чим менший коефіцієнт індивідуального ризику, тим ефективніше працює та чи інша система безпеки. Ефективність будь-якої системи безпеки визначається її досконалістю, яка головно залежить від коштів, спрямованих на її функціонування. Цілком очевидно, чим більше коштів вкладається в ту чи іншу систему безпеки, тим ефективніше вона працює і тим менший коефіцієнт індивідуального ризику. Залежність коефіцієнтів індивідуального ризику R_c і R_T від коштів D_C і D_m , які вкладені, відповідно, у соціально-економічну і технічну системи безпеки, показано у вигляді графіків на рис. 13.1. Зазначимо, що коефіцієнт індивідуального ризику, пов'язаний з тією чи іншою системою безпеки, є сумою коефіцієнтів індивідуального ризику від окремих чинників.

Наприклад, коефіцієнт індивідуального ризику, зумовлений соціально-економічною системою безпеки, вміщує в собі коефіцієнти індивідуального ризику, які пов'язані з продуктами харчування, водою, житлом. А коефіцієнт індивідуального ризику, пов'язаний з технічною системою безпеки, містить у собі коефіцієнти індивідуального ризику, які пов'язані з автомобільним транспортом, залізницею, електроприладами.

Відтак запишемо, що

$$R_c = \sum_{i=1}^k r_{c_i} \text{ і } R_T = \sum_{i=1}^k r_{T_i},$$

де r_{c_i} , r_{T_i} – коефіцієнти індивідуального ризику, спричинені, відповідно, окремими чинниками природної та техногенної сфер.

Збільшення коштів, спрямованих на вдосконалення систем безпеки, сприяє зменшенню коефіцієнтів індивідуального ризику, проте, згідно з концепцією допустимого ризику, ніколи не можна досягнути нульового значення коефіцієнта індивідуального ризику, оскільки будь-яка діяльність людини є потенційно небезпечною. У цьому випадку виникає проблема ефективного використання коштів, спрямованих на вдосконалення систем безпеки. Кількісно ефективність затрат на зменшення ризику оцінюється відповідними похідними коефіцієнта індивідуального ризику за коштами, які використані як на вдосконалення системи безпеки, так і на усунення окремих небезпечних та шкідливих чинників:

$$\eta_c = \frac{dR_c}{dD_c}, \eta_T = \frac{dR_T}{dD_T}, \eta_{c_i} = \frac{dr_{c_i}}{dD_{c_i}}, \eta_{T_i} = \frac{dr_{T_i}}{dD_{T_i}}.$$

Якщо похідні η_c , η_T , η_{c_i} і η_{T_i} наближаються до нуля, то подальше збільшення коштів на зменшення небезпеки від даного чинника є недоцільним. На практиці задають деякі граничні значення $[\eta_c]_{\text{гп.}}$, $[\eta_T]_{\text{гп.}}$, $[\eta_{c_i}]_{\text{гп.}}$ і $[\eta_{T_i}]_{\text{гп.}}$, які залежать від економічно-фінансових можливостей суспільства.

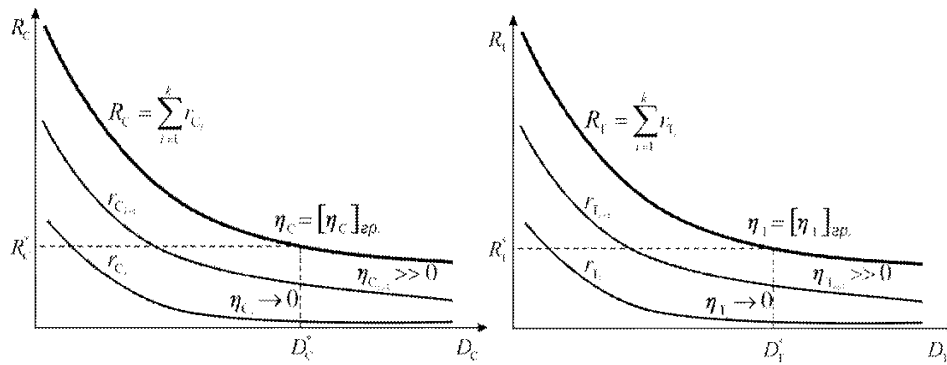


Рис. 13.1 – Залежність коефіцієнтів індивідуального ризику R_C і R_T та коефіцієнтів індивідуального ризику від окремих чинників r_{C_i} , $r_{C_{i+1}}$, r_{T_i} та $r_{T_{i+1}}$ від коштів D_C і D_T , які вкладені у відповідні системи безпеки

На рис. 13.1 показані характерні залежності коефіцієнтів індивідуального ризику, зумовлені окремими небезпечними та шкідливими чинниками, від коштів, що надаються на їхнє усунення із середовища перебування людини. Для коефіцієнтів індивідуального ризику r_{C_i} та r_{T_i} вже досягнуто рівень, при якому подальше збільшення коштів, наданих для їхнього усунення, є неефективним, оскільки $\eta_{C_i} > 0$ і $\eta_{T_i} > 0$. Залежності коефіцієнтів індивідуального ризику $r_{C_{i+1}}$ та $r_{T_{i+1}}$ від коштів, які вкладають для усунення відповідних небезпек, показують, що збільшення цих коштів є доцільним і обґрунтованим, бо $\eta_{C_{i+1}} \gg 0$ і $\eta_{T_{i+1}} \gg 0$.

Аналізуючи рівень ризику від окремих чинників у масштабах країни, треба враховувати, що не всі чинники, особливо виробничого середовища, впливають на все населення країни. Тому потрібно користуватися коефіцієнтом соціального ризику r_i^* , який визначається як добуток коефіцієнта індивідуального ризику r_i від i -то чинника і частки населення країни φ_i , що піддається дії цього i -то чинника:

$$r_i^* = r_i \varphi_i$$

Оскільки величина $\varphi_i \leq 1$, то $r_i^* \leq r_i$. У випадку, коли небезпека загрожує всьому населенню країни, коефіцієнти соціального та індивідуального ризику рівні.

Контрольні запитання (Лекція 13)

1. Як визначають коефіцієнт індивідуального ризику?
2. Навіщо потрібно користуватися коефіцієнтом соціального ризику і як він визначається?
3. Чи завжди збільшення коштів на зменшення небезпеки від певного чинника є доцільним?

ЛЕКЦІЯ 14

Технічні системи безпеки. Принципи оцінки економічного збитку від промислових аварій

Безпека — такий стан, за якого з певною вірогідністю (ризиком) виключається реалізація потенційних небезпек.

Забезпечення безпеки — складний процес, в якому можна виділити елементарні складові, вихідні положення, ідеї, що іменуються принципами.



Законодавчі принципи — закріплені законом правила, що забезпечують прийнятний рівень безпеки.

Орієнтуючі принципи — основоположні ідеї, що визначають напрямок пошуку безпечних рішень і слугують методологічною та інформаційною базою.

Технічні принципи спрямовані на безпосереднє відвернення дії небезпечних факторів і базуються на використанні фізичних законів.

Управлінськими називаються принципи, що визначають взаємозв'язок і відносини між окремими стадіями і етапами процесу забезпечення безпеки. До них належать: плановість, контроль, управління, зворотний зв'язок, підбір кадрів, відповідальність.

До **організаційних** належать принципи, за допомогою яких реалізуються положення із залученням науково обґрунтованих рішень. Це принципи несумісності, ергономічності, раціональної організації праці і відпочинку, компенсації та ін.

Розвиток цивілізації та управління ризиком. Аксиоматично прийнято, що загальний коефіцієнт індивідуального ризику R прямо пропорційний інтенсивності життєдіяльності I :

$$R \approx I$$

Інтенсивність життєдіяльності в першому наближенні оцінюють за кількістю енергії, яку виробляє людство E_0 . Отже, коефіцієнт індивідуального ризику перебуває у функціональній залежності від кількості виробленої енергії. З розвитком цивілізації кількість виробленої енергії різко зростає (див. рис. 5.1), відтак постає питання - бути чи не бути цивілізації.

Проаналізуємо можливі наслідки, зумовлені науково-технічним прогресом. Із загального закону, згідно з яким швидкість зміни будь-якої величини є пропорційною цій величині, встановлюється залежність загального коефіцієнта індивідуального ризику R від кількості виробленої енергії E_0 . Інтегрування виразу

$$\frac{dR}{dE_0} = k \frac{R}{E_0}$$

приводить до шуканої залежності у вигляді $R = \alpha E_0^k$
де k - параметр, який показує як швидко зростає загальний коефіцієнт ризику із

збільшенням кількості виробленої енергії; $\alpha = R_{E_0=1}$
 – параметр, обернена величина якого характеризує досконалість та безпечність технологій.

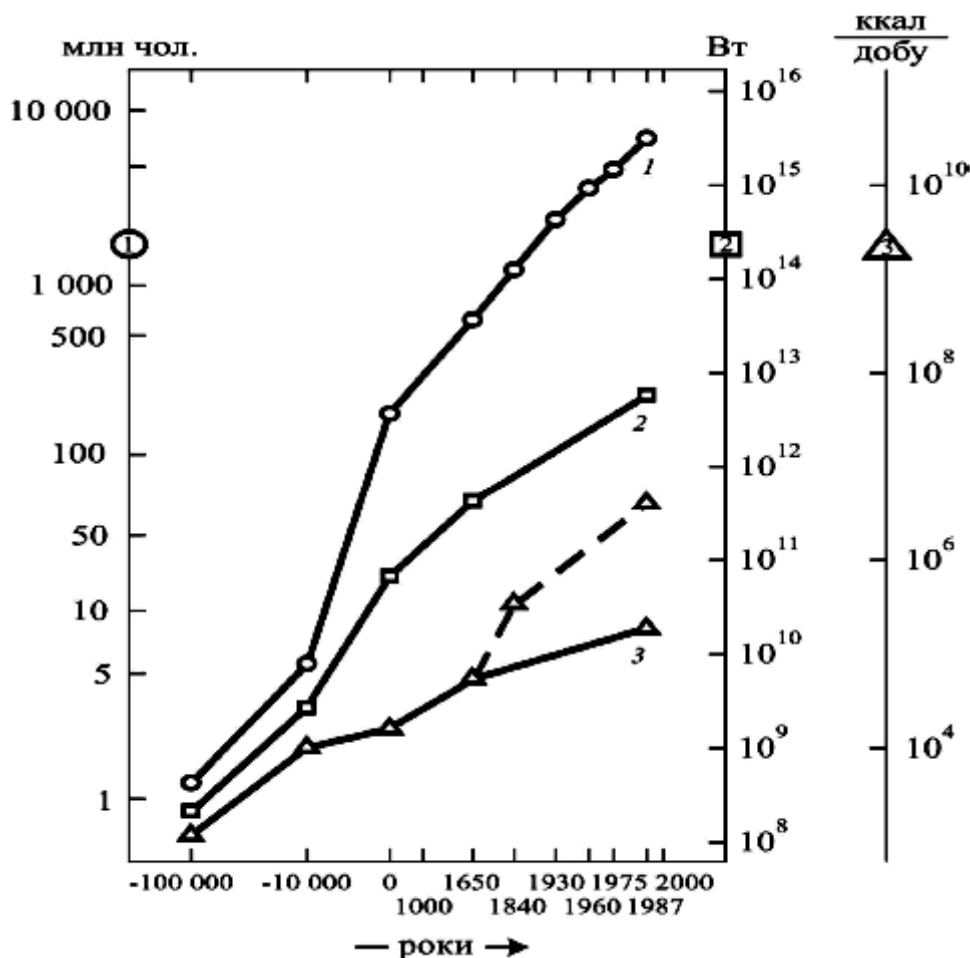


Рис. 14.1 – Ріст чисельності населення земної кулі (1), сумарного (2) і питомого (3) виробництва енергії з розвитком цивілізації. Пунктирна крива показує питоме виробництво енергії у промислово розвинених країнах

Параметр α не є постійною величиною, а залежить від частки внутрішнього валового продукту W , який спрямовується на розвиток науки і техніки. На підставі наведеного закону матимемо аналогічну залежність параметра α від величини валового внутрішнього продукту W :

$$\alpha = \beta W^n$$

де n - параметр, що показує, як швидко зменшується величина параметра α із збільшенням внутрішнього валового продукту;

$\beta = \alpha_{W=1}$ - параметр, обернена величина якого показує ефективність використання внутрішнього валового продукту для розвитку науки і техніки та вдосконалення технологій.

Величина внутрішнього валового продукту визначається корисно використаною енергією E_K , яку людство виробило, і цю залежність також подаємо у вигляді

$$W = \varepsilon E_K^m,$$

де m - параметр, що означає швидкість зростання внутрішнього валового продукту із збільшенням корисно використовуваної енергії;

$$\varepsilon = W_{E_k=1}$$

– параметр, обернена величина якого характеризує енергоємність внутрішнього валового продукту.

Параметр ε також залежить від величини внутрішнього валового продукту. Згідно з аналогічною залежністю, запишемо:

$$\varepsilon = \delta W^{-p}$$

де p - параметр, який означає швидкість зменшення величини ε із збільшенням внутрішнього валового продукту;

$$\delta = \varepsilon_{W=1}$$

– параметр, обернена величина якого характеризує ефективність використання внутрішнього валового продукту для зміни його енергоємності.

Приймаємо, що між виробленою енергією E_0 і корисно спожитою E_k існує загальноприйняте співвідношення

$$E_k = \gamma E_0,$$

де $\gamma = \gamma_c \gamma_t$ - загальний коефіцієнт корисного використання енергії (γ_c - суспільно-економічний коефіцієнт, γ_t - науково-технічний коефіцієнт). Провівши послідовні підстановки, встановлюємо залежність між коефіцієнтом індивідуального ризику і величиною внутрішнього валового продукту:

$$R = \frac{\beta}{\gamma^k \delta^m} W^{\frac{(1+p)k}{m} - n} \quad ()$$

Ця залежність показує, що загальний коефіцієнт індивідуального ризику зменшується зі збільшенням внутрішнього валового продукту за умови, якщо

$$mn > (1+p)k \quad (14.2)$$

або

$$\frac{\beta}{\gamma^k \delta^m} \rightarrow 0 \quad (14.3)$$

За інших умов коефіцієнт індивідуального ризику зростатиме зі збільшенням внутрішнього валового продукту.

На рис. 14.2 показана залежність загального коефіцієнта індивідуального ризику R від величини внутрішнього валового продукту W в разі виконання умов (14.2) і (14.3).

Аналіз цих умов, згідно з фізичним змістом параметрів, показує, що належний рівень безпеки життєдіяльності може бути забезпечений при переорієнтації науково-технічного прогресу на створення енергозберігаючих технологій і витісненні ресурсомістких технологій наукомісткими. З цього погляду роль знань природничих наук не тільки не зменшується, але й зростає поряд з послідовною гуманітаризацією навчання, оскільки умова (14.3) охоплює як науково-технічний, так і суспільно-економічний коефіцієнт корисного використання енергії.

Відтак, науково-технічний прогрес за цих умов і надалі залишатиметься критерієм благополуччя людства, оскільки його досягнення, спрямовані на зростання валового внутрішнього продукту, не викликать збільшення загального коефіцієнта індивідуального ризику, а, навпаки, спричинять його зменшення.

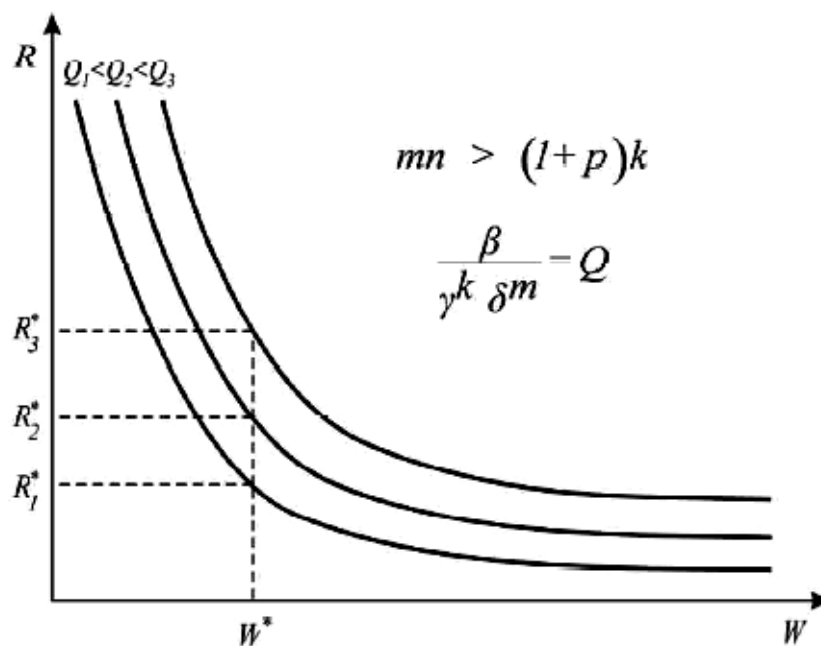


Рис. 14.2 – Залежність коефіцієнта індивідуального ризику R від величини внутрішнього валового продукту W

В історичному плані зміна загального коефіцієнта ризику R з часом у кожній країні залежить від часових залежностей параметрів, які входять у рівняння (), а саме:

$$W = f_1(t);$$

$$\frac{\beta}{\gamma^k \delta^m} = f_2(t);$$

$$\frac{(1+p)k}{mn} - 1 = f_3(t),$$

Де $f_1(t)$, $f_2(t)$ і $f_3(t)$ - часові функції валового внутрішнього продукту і комплексу параметрів, які входять у вищенаведені рівняння (14.1–14.3), відповідно. Аналіз часових залежностей цих функцій дає можливість виявити тенденції зміни загального коефіцієнта ризику R і виявити найефективніші підходи до його зниження шляхом зміни відповідних параметрів.

Параметри залежності m , n , p і k залежать тільки від досягнень науки й техніки та їх впровадження у виробництво. Збільшення добутку параметрів mn та зменшення добутку $(1+p)k$ можливе при використанні наукоємних та енергозберігаючих технологій. Щодо параметрів β , γ і δ , то їхні величини залежать не стільки від результатів науково-технічного прогресу, скільки від соціально-економічної політики держави.

Розглянемо умови збереження заданого рівня безпеки життєдіяльності при зміні валового внутрішнього продукту чи інших параметрів.

Позначивши комплекс параметрів $\left(\frac{\beta}{\gamma^k \delta^m} \right)$ через Q , а $\left(\frac{(1+p)k}{m-n} \right)$ через s , запишемо знайдену залежність (14.1) у вигляді: $R = QW^s$,

Нехай заданий загальний коефіцієнт ризику R_0 досягається при таких значеннях Q_0 , W_0 і s_0 :

$$R_0 = Q_0 W_0^{s_0},$$

а при зміні величини внутрішнього валового продукту до W_1 він

дорівнюватиме

$$R_I = Q_I W_I^{S_I},$$

За умови збереження заданого коефіцієнта ризику $R_0 = R_I$ маємо, що

$$Q_0 W_0^{S_0} = Q_I W_I^{S_I}.$$

Прийнявши позначення, що $x = Q_I/Q_0$ і $y = W_I/W_0$, знаходимо умови, за яких можна підтримувати заданий рівень безпеки життєдіяльності при зміні внутрішнього валового продукту, а саме: $x = y^{-\Delta s}$.

Величина y показує зміну внутрішнього валового продукту щодо базового рівня W_0 , а останнє рівняння зв'язує усі параметри, які впливають на загальний коефіцієнт ризику. На рис. 14.3 показана залежність величини x від y при різних значеннях Δs . Як видно з рисунка, підтримання необхідного рівня безпеки життєдіяльності потребує взаємоузгоджених змін усіх параметрів, а їхні довільні зміни не завжди можуть бути прийнятними для суспільства.

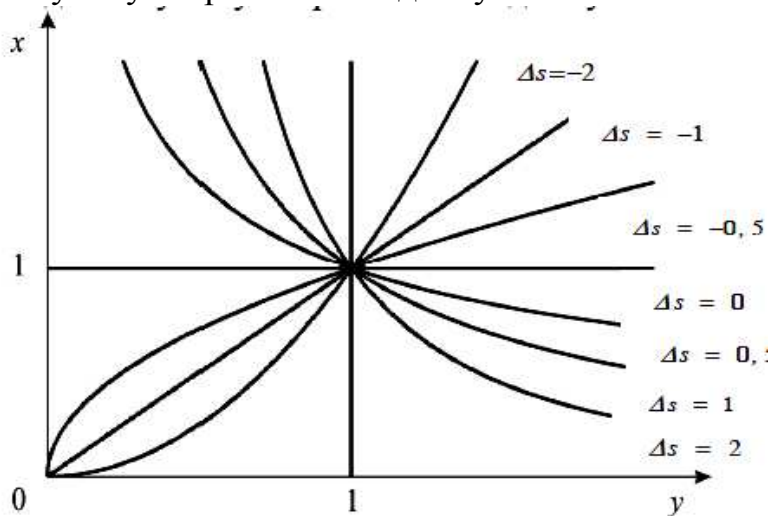


Рис. 14.3 – Залежність величини $x = Q_I/Q_0$ від $y = W_I/W_0$ при різних значеннях Δs

Актуальною проблемою сьогодення є співвідношення між природною і техногенною сферами. Людина як частина природи може жити тільки в природній сфері. Необґрунтоване розширення техногенної сфери і зменшення природної може призвести до незворотних глобальних процесів і зникнення природної сфери, придатної для життя людини. Кожна людина повинна усвідомлювати, що має існувати достатня природна сфера і досконала соціально-економічна система безпеки, вдосконалення якої є неможливим без розвитку техногенної сфери і відповідної їй системи безпеки.

Відтак, основними умовами безпечної життєдіяльності людини є:

- встановлення оптимального співвідношення між природною та техногенною сферами довкілля, тобто такого стану, при якому науково-виробничо-побутова діяльність людини не викликає змін у параметрах природного середовища;
- вдосконалення техногенної сфери шляхом впровадження науко-ємних, маловідходних технологій і зменшення її шкідливого впливу на природну сферу та людину;
- підвищення ефективності функціонування соціально-економічної та технічної систем безпеки шляхом впровадження результатів науково-технічного прогресу та зміни соціально-економічних орієнтирів у розвитку суспільства.

Оскільки умови безпечної життєдіяльності забезпечуються самою людиною,

то гарантом безпеки людства є формування сучасного світогляду шляхом розширення техногенно-екологічної освіти до освіти в інтересах стабільного майбутнього.

Контрольні запитання (Лекція 14)

1. Назвіть принципи забезпечення безпеки.
2. Що є умовами безпечної життєдіяльності?
3. Чи є науково-технічний прогрес критерієм благополуччя людства?

ЛЕКЦІЯ 15

Поняття збитку і шкоди. Структура шкоди. Економічна екологічна шкода.

Принципи оцінки економічного збитку

Розподіл наявних коштів між технічною і економічною системами безпеки. Сума коштів, які держава може виділити на вдосконалення обох систем безпеки, є обмеженою і прямо пропорційною валовому внутрішньому продукту W :

$$D_C + D_T = \lambda W, \quad (15.1)$$

де λ - коефіцієнт пропорційності, який завжди менший від 1, і його величина залежить від соціально-економічної політики держави.

Звичайно, розподілити ці кошти треба так, щоб забезпечити мінімальне значення загального коефіцієнта індивідуального ризику. З цією метою будують залежність усіх трьох коефіцієнтів індивідуального ризику R , R_C і R_T від коштів, вкладених в одну із систем, наприклад технічну D_T , беручи до уваги співвідношення (13.1) і (15.1). Одержана залежність показана на рис. 15.1.

Як видно з рис. 15.1, існує оптимальна величина коштів D_T^0 , яка має вкладатися в технічну систему безпеки і за якої забезпечується мінімальне значення коефіцієнта індивідуального ризику R^0 . Ділянка в околі цього значення вважається оптимальною щодо забезпечення мінімального ризику. Праворуч і ліворуч від цієї ділянки ризик діяльності людини зростає. В неоптимальній ділянці I високий коефіцієнт індивідуального ризику зумовлений технічною системою безпеки, а в неоптимальній ділянці II - недосконалістю соціально-економічної системи безпеки.

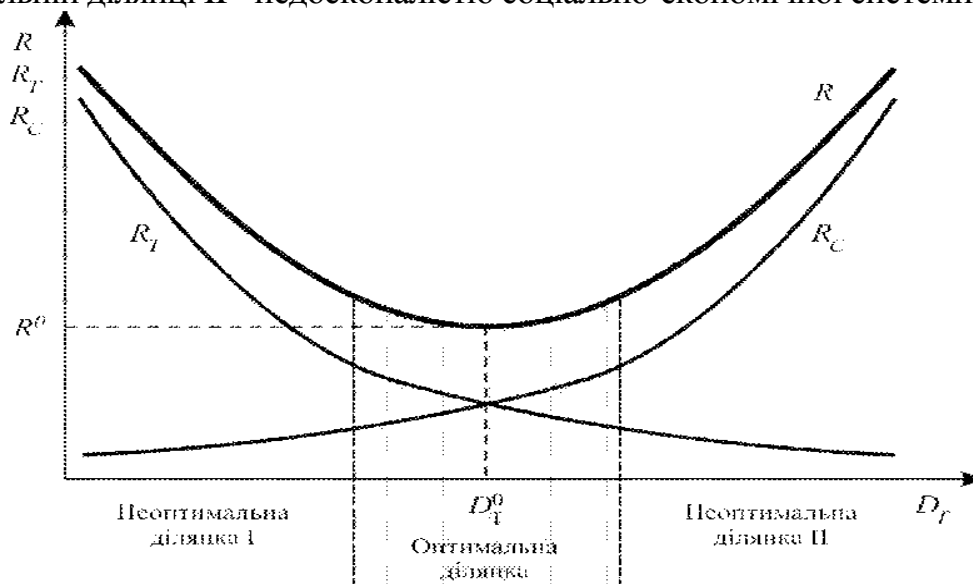


Рис. 15.1 – Залежність коефіцієнтів індивідуального ризику R , R_T і R_C від коштів D_T , які вкладені у технічну систему безпеки

Математичний аналіз залежності (13.1) свідчить, що мінімальне значення загального коефіцієнта індивідуального ризику забезпечується за умови, коли

$$\eta_C = \eta_T$$

тобто, коли ефективність використання коштів для вдосконалення обох систем безпеки, соціально-економічної та технічної, є однаковою.

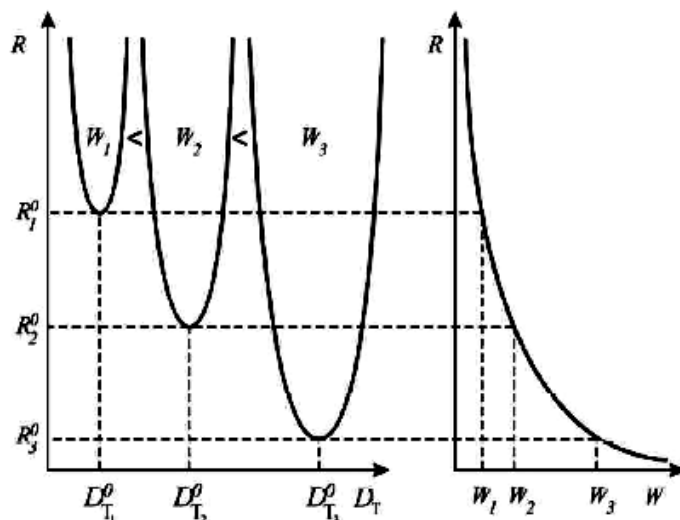


Рис. 15.2 – Залежність оптимального значення загального коефіцієнта індивідуального ризику R° від величини внутрішнього валового продукту W

Побудувавши залежність загального коефіцієнта індивідуального ризику R від коштів Dm , вкладених у технічну систему безпеки, при різних величинах валового внутрішнього продукту W_i знаходимо залежність оптимального значення загального коефіцієнта індивідуального ризику R° від величини валового внутрішнього продукту W (див. рис. 15.2).

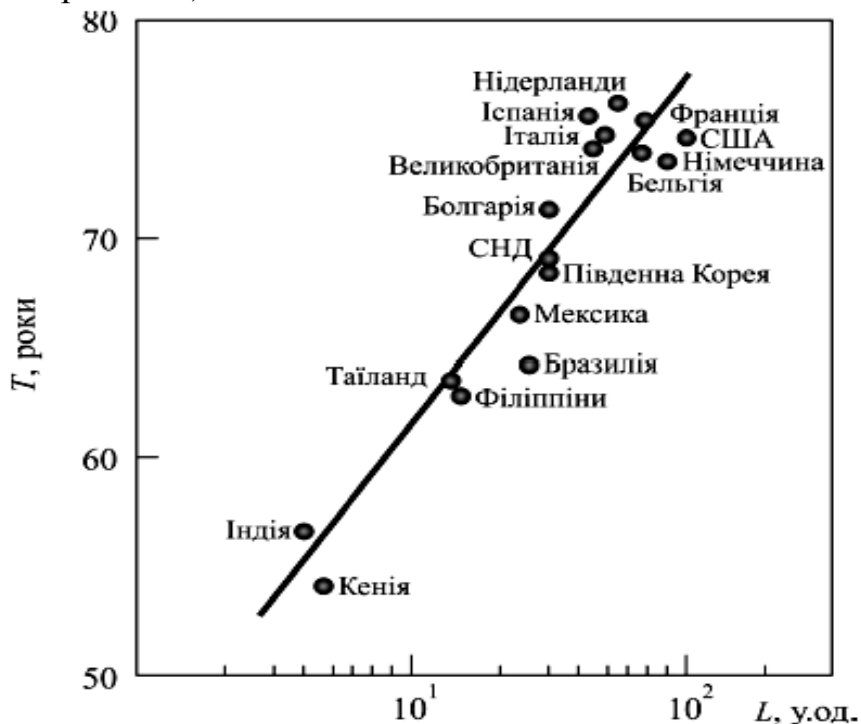


Рис. 15.3 – Залежність середнього віку життя людини T від середнього доходу на особу L (кінець XX ст.)

Із збільшенням валового внутрішнього продукту загальний коефіцієнт індивідуального ризику зменшується. Ця теоретично передбачувана залежність підтверджується світовим досвідом. Існує однозначна залежність між середнім віком життя людей і їхнім середньорічним доходом на особу: чим більший середньорічний дохід на особу, тим довший вік життя людей і менший коефіцієнт індивідуального ризику (див. рис. 15.3). Відомі й винятки із цієї залежності, оскільки є країни, в яких коефіцієнт пропорційності λ значно менший, ніж в інших країнах.

Економічна оцінка ризику (Україна)

В Україні налічується 14 мільйонів працюючих і 13,4 мільйонів пенсіонерів. Таким чином, кількість пенсіонерів майже порівнялася з кількістю працюючих. Це і стало однією з причин проведення пенсійної реформи, зазначають у департаменті Пенсійного фонду.

Кількість найманих працівників в Україні в липні досягла 10,56 млн. осіб. Кількість найманих працівників у липні 2011 року зросла на 0,1% - до 10 млн. 561,8 тис. людей, повідомляє Державна служба статистики України. Найбільше найманих працівників у липні 2011 року налічувалося в промисловості (2 млн. 803,6 тис.) і в освіті (1 млн. 596,7 тис.), найменше - в рибальстві (7,2 тис.) і в сфері діяльності водного транспорту (8,7 тис.).

Найбільше найманих працівників у липні 2011 року налічувалося в м. Києві (1 млн. 242,3 тис.) і Донецькій області (1 млн. 135,5 тис.), найменше - ум. Севастополі (83,9 тис.) і у Чернівецькій області (139,1 тис.).

Виходячи з інформації, що наведено вище, по аналогії за формулою (15.1) можна знайти ризик за різними районами України.

У 1 півріччі 2012 року надходження до Фонду склали 2 980 609,2 тис. грн., з них сума внесків роботодавців становить 2 967 145,9 тис. грн., або 48,5% від річного планового показника. Надходження внесків роботодавців збільшилися на 457 287,4 тис. грн., або на 18,2% у порівнянні з відповідним періодом 2011 року.

Станом на 1 липня 2012 року Фонд проводить страхові виплати 307,8 тис. потерпілих (членам їх сімей), які постраждали на виробництві, ця кількість на 3,7 тис. осіб, або на 1,2% менша, ніж за I півріччя 2011 року. Найбільша кількість потерпілих (членів їх сімей), які отримують страхові виплати від Фонду є мешканцями Донецької (106,4 тис. осіб або 34,6%), Луганської (56,8 тис. осіб, або 18,5%), Дніпропетровської (36,2 тис., 11,7%), Львівської (15 тис., 4,9%) областей.

За I півріччя 2012 року з бюджету Фонду потерпілим (членам їх сімей) виплачено 2181,3 млн. грн., що на 402,2 млн. грн., або на 22,6% більше, ніж у I півріччі 2011 року. Середньомісячний розмір страхової виплати на одного потерпілого (члена його сім'ї) має стабільну тенденцію зростання. За I півріччя 2012 року він склав 1223,2 грн., що на 29,6% більше, порівняно з I півріччям 2011 року.

У структурі страхових виплат за I півріччя 2012 року основна частина припадає на щомісячні страхові виплати потерпілим (членам їх сімей) — 1687,2 млн. грн. (77,3%) та одноразову допомогу потерпілим (членам їх сімей) - 426,2 млн. грн. (19,5%).

Найбільша частина загальної суми страхових виплат по Україні за I півріччя 2012 року, що складає 78,8%, припадає на шахтарські регіони, а саме: у Донецькій області - 39,6%, у Луганській - 16,8%, у Дніпропетровській - 15,6%, у Львівській -

6,8%. Також для цих регіонів притаманний найвищий середньомісячний розмір призначеної страхової виплати, який за I півріччя 2012 року склався у Львівській області - 1732,4 грн., Дніпропетровській - 1629,8 грн., Донецькій - 1397,2 грн. та Кіровоградській 1266,4 грн., що більше, ніж по Україні, на 41,6%, 33,2%, 14,2% та 3,5 відсотків відповідно.

Щомісячна грошова сума в разі часткової чи повної втрати працездатності, що компенсує відповідну частину втраченого заробітку потерпілого за I півріччя 2012 року склала 1591,5 млн. грн., що на 326,5 млн. грн., або на 25,8% більше в порівнянні з аналогічним періодом минулого року. Середньомісячний розмір призначеної виплати склав 955,67 грн., що на 221,5 грн., або на 30,2% вище, порівняно з I півріччям 2011 року. Одночасно з цим, чисельність потерпілих, які отримують даний вид виплати в порівнянні з аналогічним періодом минулого року, зменшилась на 0,8% і становить 290,1 тис. осіб.

Сума щомісячної страхової виплати особам, які мають на це право в разі втрати годувальника, за I півріччя 2012 року склала 95,7 млн. грн., що на 15 млн. грн., або 18,6% більше, порівняно з I півріччям 2011 року. Середньомісячний розмір даної виплати, призначений за звітний період, склав 927,4 грн., що на 209,8 грн. (29,2%) більше порівняно з відповідним періодом минулого року. Чисельність утриманців, які отримують щомісячні виплати в порівнянні з I півріччям 2011 року зменшилась на 6,7% і становить 17,7 тис. осіб.

При кількості працюючих 14 млн. чоловік можна порахувати, що на кожного із працюючих в Україні приходить тільки на півроку $95.7/14 = 6,8$ грн. виплат на кожного працюючого.

Однією з причин зростання середньомісячного розміру виплат потерпілим (членам їх сімей) є проведення робочими органами виконавчої дирекції Фонду перерахунок сум Щомісячних страхових виплат потерпілим (членам їх сімей) на коефіцієнт зростання середньомісячної заробітної плати відповідно до частини другої статті 29 Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», Порядку призначення, перерахування та проведення страхових виплат, затвердженого постановою правління Фонду від 27.04.07 № 24, зареєстрованою в Міністерстві юстиції України 22.06.07 за №715/13982.

Контрольні запитання (Лекція 15)

1. Розрахуйте виплати потерпілим (членам їх сімей) при кількості працюючих в Україні 14 млн. чоловік.
2. Чи існує оптимальна величина коштів, яка має вкладатися в технічну систему безпеки і за якої забезпечується мінімальне значення коефіцієнта індивідуального ризику?
3. Зменшується чи збільшується із збільшенням валового внутрішнього продукту загальний коефіцієнт індивідуального ризику?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

А) основні

1. Безпека життєдіяльності. За ред. В.Г. Цапка. К.: Видавництво "Знання", 2003 - 397с.
2. Надежность средств автоматизации. Методические указания по расчету надежности средств автоматизации и контрольные задания по расчету надежности для студентов дневной формы обучения специальности 21.02. / Н. В. Чистофорова, Т.В. Голубцова; Ангарская Государственная Техническая Академия. - Ангарск - 2005 г., 40 с.
3. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В.Л.Лапин, Ф.Н.Рыжков, В.М.Попов, В.И.Томаков. Курск, 1995. - 238 с.
4. Сандлер Дж. Техника надежности систем: Пер. с англ. М.: Наука, 1966. - 300 с.
6. Перелет Р.А., Сергеев Г.С. Технологический риск и обеспечение безопасности производства. М.: Знание, 1988. 64 с.
7. Томаков В.И. Прогнозирование техногенного риска с помощью "Деревьев отказов": Учебн.пособие / Курск.гос.техн.ун-т. Курск, 1997. - 99 с.

Б) додаткові

1. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. - 318с.
2. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. Б.А.Чумаченко. М.-Л.: Энергия, 1966.-232с.
3. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. 176 с.
4. Меламедов И.М. Физические основы надежности. Л.: Энергия, 1970. 152с.
5. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208с.
6. Предупреждение крупных аварий: Практическое руководство; Пер. с англ. М.: МП "Рарог", 1992. 256 с.
7. Риск как точная наука // Наука и жизнь. 1991. №3. С.2-5, 59-64.
8. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат, 1989. 264 с.
9. Теория систем: Учеб. пособие. / Веревкин А.П., Кирюшин О.В. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. –100 с.
10. Кох П.И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. 176с.
11. Шахрамьян М.А., Ларионов В.И., Нигметов Г.М. и др. Комплексная оценка риска от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Безопасность жизнедеятельности. 2001. №12. С. 8-14.

ЗМІСТ

| | Стор. |
|---------------------------------------|-------|
| ВСТУП | 3 |
| ЛЕКЦІЯ 1 | 5 |
| Контрольні запитання (Лекція 1) | 10 |
| ЛЕКЦІЯ 2 | 10 |
| Контрольні запитання (Лекція 2) | 13 |
| ЛЕКЦІЯ 3 | 13 |
| Контрольні запитання (Лекція 3)..... | 16 |
| ЛЕКЦІЯ 4 | 16 |
| Контрольні запитання (Лекція 4)..... | 21 |
| ЛЕКЦІЯ 5 | 21 |
| Контрольні запитання (Лекція 5)..... | 25 |
| ЛЕКЦІЯ 6 | 25 |
| Контрольні запитання (Лекція 6)..... | 28 |
| ЛЕКЦІЯ 7 | 28 |
| Контрольні запитання (Лекція 7)..... | 30 |
| ЛЕКЦІЯ 8 | 30 |
| Контрольні запитання (Лекція 8)..... | 37 |
| ЛЕКЦІЯ 9 | 37 |
| Контрольні запитання (Лекція 9)..... | 42 |
| ЛЕКЦІЯ 10 | 43 |
| Контрольні запитання (Лекція 10)..... | 47 |
| ЛЕКЦІЯ 11 | 47 |
| Контрольні запитання (Лекція 11)..... | 49 |
| ЛЕКЦІЯ 12 | 49 |
| Контрольні запитання (Лекція 12)..... | 53 |
| ЛЕКЦІЯ 13 | 53 |
| Контрольні запитання (Лекція 13)..... | 55 |
| ЛЕКЦІЯ 14 | 55 |
| Контрольні запитання (Лекція 14)..... | 61 |
| ЛЕКЦІЯ 15 | 61 |
| Контрольні запитання (Лекція 15)..... | 64 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 65 |

Навчальне видання

АБРАКІТОВ Володимир Едуардович

КУРС ЛЕКЦІЙ

**НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
І ТЕХНОГЕННИЙ РИЗИК**

*(для студентів 4 курсу денної форми навчання
галузі знань 1702 «Цивільна безпека» за напрямом підготовки
6.170202 «Охорона праці»)*

Відповідальний за випуск *Я. О. Серіков*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2012, поз. 76Л

Підп. до друку 12.11.2012
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 4,7
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.